نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره پنجم، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir

تحلیل ریسک سامانه اصلی انتقال آب در شبکه‌های آبیاری با رویکرد سلسله‌مراتبی فازی

مهدی اروجلو[۱]، *سیدمهدی هاشمی[۲] و عباس روزبهانی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، [۲]استادیار سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، [۳]استادیار مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: اتخاذ تصمیم مناسب و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری نیازمند شناخت توانایی‌ها و نقاط ضعف اجزا آن می‌باشد. این پژوهش در ابتدا به شناسایی خطرات و تهدیدهای طبیعی، انسان‌ساز و عملکردی پیش‌روی سامانه اصلی انتقال آب در شبکه‌های آبیاری پرداخته و سپس با ارائه یک چارچوب سیستماتیک اقدام به تحلیل ریسک سامانه مذکور کرده است. روش تحلیل ریسک کاربرد گسترده در ساختارهای مشابه مانند شبکه‌های آبرسانی و جمع‌آوری فاضلاب دارد اما تاکنون از این رویکرد در شبکه‌های آبیاری استفاده نشده است. پژوهش پیشرو در بخش اول به دنبال توسعه یک مدل سلسله‌مراتبی جامع برای شبکه‌های آبیاری بوده است به‌گونه‌ای که ساختار مذکور برای تمامی شبکه‌های آبیاری موجود با سطوح مختلف بهره‌برداری و تنوعی که در سازه‌های انتقال، کنترل و تحویل آب وجود دارد قابل استفاده می‌باشد. در بخش دوم به تحلیل ریسک خطرات شناسایی شده پرداخته است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش خطرات تهدیدکننده عملکرد هر یک از اجزا شبکه با انجام مطالعات کتابخانه‌ای، بازدید میدانی و مصاحبه با خبرگان، مشخص گردیده است. احتمال وقوع خطرات، پیامدهای وقوع هر یک از خطرات و آسیب‌پذیری اجزای سامانه انتقال شبکه مذکور در قالب پرسشنامه دریافت گردید و ریسک خطرات و اجزا محاسبه گردیده است. با توجه به عدم صراحت موجود در دریافت نظر کارشناسی در این پژوهش محاسبات بر اساس اعداد فازی مثلثی انجام گردید و در نهایت جهت ملموس بودن خروجی‌های مدل برای بهره‌برداران از روش مرکز سطح برای تبدیل اعداد فازی به صریح استفاده گردیده است. در این مطالعه جهت مشخص کردن وزن اجرا شبکه، خطرات تهدیدکننده سیستم و معیارهای ارزیابی شدت اثر و آسیب‌پذیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) بهره گرفته شد. همچنین در مراحل مختلف پژوهش جهت تجمیع ریسک روش مجموع وزین ساده به‌عنوان روش تجمیع انتخاب شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع است که در سطح خطرات، به‌ترتیب ۵ خطر پرریسک عبارت‌اند: عملیات نگه‌داری ضعیف در کانال اصلی با ریسک ۱/۷۵۸، خرابکاری در ماژول نیرپیک با ریسک ۱/۶۷، عملیات نکهداری ضعیف در سازه‌های تقاطعی با ریسک ۱/۶۱۸، خطای نیروی انسانی کم‌تجربه و کالیبراسیون نادقیق در

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

دریچه‌های قابل بهره‌برداری به‌ترتیب با ریسک ۱/۵٤ و ۱/٤. بر اساس نتایج تجمیع ریسک در ساختار سلسله، در سیستم انتقال از بین سازه‌های انتقال، تنظیم و تحویل، سازه‌های تحویل با ریسک ۱/۹٦٦ به‌عنوان بحرانی سازه معرفی شد؛ بین دو منبع آب مخزن و چاه مقدار ریسک به‌ترتیب ۱/۲۷٤ و ۰/۹۹ به‌دست آمد که گویای بحرانی‌تر بودن مخزن نسبت به چاه می‌باشد. در سطح سیستم‌ها، سیستم انتقال نسبت به سیستم تأمین با مقدار عددی ۱/۹۳۷ دارای ریسک بیش‌تری است. نتایج تحلیل حساسیت مدل تحلیل ریسک گواه این مطلب بود که تغییر ۱۰ درصدی ناحیه همپوشانی توابع فازی مورد استفاده در نمره‌دهی، ریسک کل را به‌میزان ۱/۲ و ۲/۱۲ درصد به‌ترتیب در حالت کاهش و افزایش ناحیه همپوشانی تغییر داد و در اولویت‌بندی اجزا و خطرات پرریسک تغییر مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های پژوهش و مشخص شدن میزان ریسک، اولویت‌بندی خطرات نشان داد که بخش عمده از خطرات پر ریسک به‌طورکلی در دسته خطرات ناشی از بهره‌برداری قرار می‌گیرند که توجه به امر بهره‌برداری و کاهش ریسک خطرات تهدیدکننده این بخش می‌تواند اطمینان از عملکرد مناسب سیستم را تا حد قابل‌توجهی افزایش دهد؛ همچنین با در نظر گرفتن قابلیت رویکرد ارائه شده در مشخص نمودن احتمال وقوع خطرات تهدیدکننده سیستم و پیامد وقوع هریک از خطرات از جنبه‌های مختلف و همچنین ارزیابی آسیب‌پذیری اجزا در مقابل خطرات و توانایی این رویکرد در برطرف کردن نقاط ضعف روش‌های ارزیابی رایج، استفاده از روش فوق به‌عنوان یک روش تصمیم‌یار در فرآیند مدیریت و ارزیابی شبکه‌های آبیاری و اتخاذ روش مدیریتی مناسب توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ریسک، سلسله‌مراتبی فازی، ارزیابی شبکه آبیاری

مقدمه

بخش کشاورزی به‌عنوان عمده مصرف‌کننده آب در بین مصارف مختلف همواره مورد توجه مدیران و تصمیم‌گیران بوده است. بر این اساس ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری همواره مورد توجه بوده است. در حال حاضر ارزیابی شبکه‌های آبیاری توسط روش‌های ارزیابی کمی و کیفی انجام می‌شود که در عین فراگیری در کاربرد دارای نقایصی نیز می‌باشند. این روش‌ها در درجه اول به‌صورت دوره‌ای و منظم انجام نمی‌شود و ثانیاً در مواردی که به‌صورت کامل انجام شود صرفاً به بررسی وضعیت کنونی می‌پردازد و قادر به ارزیابی خطرات پیش‌رو شبکه آبیاری، عواقب وقوع خطرات و همچنین آسیب‌پذیری سیستم نمی‌باشد. بررسی رویکرد مدیریتی سیستم‌های گسترده و مشابه سیستم انتقال و توزیع مانند سیستم آبرسانی شهری و جمع‌آوری فاضلاب گویای این مطلب می‌باشد که رویکرد رایج واکنش به حادثه در این سیستم‌ها کنار گذاشته شده و به دنبال اتخاذ سیاست حفظ سیستم در شرایط مطلوب و یا پیشگیری از خطر می‌باشند. و در این بین روش تحلیل ریسک به‌عنوان نمونه کارآمد رویکرد مذکور مطرح می‌باشد. با در نظر گرفتن تجربیات به‌کارگیری رویکرد تحلیل ریسک در سامانه‌های آبی این پژوهش برای اولین بار اقدام به به‌کارگیری رویکرد مذکور در مدیریت بهره‌برداری و نگه‌داری شبکه‌های آبیاری نموده است.

با بررسی سابقه پژوهش مشخص می‌شود که رویکرد فوق‌الذکر کاربرد وسیعی در مدیریت زیرساخت‌های شهری دارد مانند شبکه آبرسانی و جمع‌آوری فاضلاب دارد. در بخش سیستم تأمین آب شهری، فارس و زاید (۲۰۱۰) با روش تحلیل سلسله‌مراتبی در قالب ۱٦ فاکتور شکست، ریسک

شکست شبکه آبرسانی را بررسی کردند و با استفاده از تئوری فازی عدم قطعیت‌های حاکم را در نظر گرفتند (۱). روزبهانی و همکاران (۲۰۱۳) ساختار یکپارچه تحلیل ریسک برای شهر ارومیه (مطالعه موردی) ارائه کردند و به تحلیل ریسک سیستم تأمین آب، تصفیه‌خانه و سیستم توزیع آب پرداختند. در این پژوهش از اعداد فازی جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها استفاده شده است (۲). رحمان و همکاران (۲۰۱٤) به ارائه مدل تحلیل ریسک برای نوسازی و جایگزینی سیستم آب شهری در کالیفرنیا پرداخته است. در این پژوهش ریسک به‌صورت تابعی از احتمال و شدت اثر در نظر گرفته شده است (۳). ماکی و همکاران (۲۰۱٤) در برنامه‌ریزی ارزیابی و نوسازی شبکه آبرسانی که برای شهر 'Colorado Springs' انجام شده است، چارچوب مدیریت عملیات ارزیابی و نوسازی ریسک محور را برای این شهر توسعه داده‌اند. در این پژوهش به کمک مدل‌های ارزیابی بحران (نماینده احتمال) و ارزیابی شرایط (نمایند پیامد وقوع) به تجمیع پرداخته‌اند و ارائه ریسک به کمک ماتریس انجام‌شده است و در نهایت برای هر یک از سطوح ریسک عملیات مناسب جهت افزایش بهره‌وری عملیات تعمیر و نگه‌داری ارائه شده است (٤).

روش تحلیل ریسک مورد توجه پژوهشگران بخش سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب نیز بوده است.

سلمان و سالم (۲۰۱۲) به تهیه نقشه ریسک شبکه فاضلاب کمک نرم‌افزار Arc GIS پرداختند. در این پژوهش ریسک شکست با بهره‌گیری از سه روش ضرب احتمال و شدت اثر، ماتریس احتمال و استنتاج فازی محاسبه شد و از نظرات کارشناسی جهت وزن‌دهی استفاده گردید (۵). عسگریان و همکاران (۲۰۱۳) ارزیابی ریسک شبکه جمع‌آوری فاضلاب با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری فازی انجام گردید در این پژوهش شبکه فاضلاب تحت پوشش تصفیه‌خانه شهرک غرب تهران توسط رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی مورد بررسی قرار گرفت. از دیگر زمینه‌های استفاده از روش تحلیل ریسک مدیریت توأمان زیرساخت‌های شهری می‌باشد (٦). الساوا و همکاران (۲۰۱٤) به ارائه یک مدل تصمیم‌یار برای ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی اقدامات تعمیر و نگه‌دار به‌صورت یکپارچه برای زیرساخت‌های شهری پرداختند در این پژوهش سیستم آب شهری و فاضلاب به‌صورت توأمان مورد بررسی قرار گرفته است (۷). اینانلو و همکاران (۲۰۱٦) با در نظر گرفتن اثرات توأم سیستم‌های آب شهری، فاضلاب و حمل‌ونقل به مشخص کردن نقاط آسیب‌پذیر در شهر میامی پرداخته شده است، این پژوهش با تجمیع احتمال شکست سه سیستم مذکور با بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS به آنالیز مکانی زیرساخت‌های شهری پرداخته و آسیب‌پذیرترین نقاط را در سطح شهر در قالب نقشه آسیب‌پذیری ارائه کرده است (۸).

گسترگی مکانی شبکه‌های آبیاری، تفاوت وضعیت مسئولین بهره‌برداری در قسمت‌های مختلف، تفاوت عملکرد سازه‌های از نظر واسنجی، مدیریت چندگانه (دولتی، تعاونی و خصوصی)، بافت خاک (۹) همواره این سیستم را در معرض تهدید انسان‌ساز و طبیعی و عملکردی قرار داده است بنابراین تحقیق پیش‌رو برای اولین بار، با توسعه ساختار سلسله‌مراتبی شبکه‌های آبیاری به دنبال ارایه مدل تحلیل ریسک سیستم انتقال و توزیع آب کشاورزی می‌باشد. بنابراین در راستای تحقق نوآوری مذکور، در این پژوهش اقدام به شناسایی خطرات تهدیدکننده سیستم در قالب ساختار مبتنی بر سیستم خبره و سپس ترکیب سه پارامتر احتمال وقوع خطر، عواقب وقوع و آسیب‌پذیری در مقابل خطرات گردیده است. لازم به توضیح است که دو المان احتمال وقوع و عواقب وقوع جزو خواص ذاتی خطرات بوده، در حالی‌که آسیب‌پذیری به

مشخصات و ویژگی‌های شبکه انتقال برمی‌گردد. بنابراین در مدل تهیه شده این پژوهش، خطرات و ساختار انتقال به‌طور توامان دخیل گردیده‌اند. با توجه به عدم قطعیت موجود نظرات خبرگان و عدم وجود سیستم ثبت اطلاعاتی در شبکه‌های آبیاری مدل توسعه داده شده بر مبنای اعداد فازی خواهد بود. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی توسعه داده شده به‌نحوی ارائه شده است که برای شبکه‌های مختلف با سطوح اتوماسیون، روش کنترل و تنظیم متفاوت قابل استفاده باشد.

مواد و روش‌ها

در این بخش به ارایه مدل تحلیل ریسک سلسله‌مراتبی شبکه‌های انتقال و توزیع آب کشاورزی پرداخته شده است. در همین راستا ابتدا مفهوم ریسک مورد بررسی قرار گرفته و سپس روش‌های ریاضی مورد استفاده شامل: روش سلسله‌مراتبی، مجموع وزین ساده و روش غیرفازی سازی مورد مورد بحث قرار گرفته است و در بخش آخر گام‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آنالیز حساسیت مدل بحث تشریح گردیده است.

ریسک[1]: ریسک یک مفهوم انتزاعی است که تعریف آن مشکل و در برخی موارد غیرممکن است. ریسک دو مفهوم را در بردارد: آینده و شک؛ بنابراین حادثه‌ای که مربوط به آینده نباشد و یا در مورد وقوع آن شک وجود نداشته باشد دیگر ریسک تلقی نمی‌شود. ریسک را می‌توان به‌صورت احتمال شکست یا آسیب به دلیل یک رخداد ناخوشایند و عواقب سو ناشی از آن تعریف کرد (۱).

ریسک به‌صورت تابعی از احتمال[2] و شدت اثر[3] خطر تعریف می‌شود که احتمال وقوع در برخی مطالعات به‌صورت ترکیبی از پارامترهای آسیب‌پذیری[4] و احتمال وقوع ارائه گردیده است (۱۰).

$$\text{ریسک} = \text{احتمال} \times \text{شدت اثر} \times \text{آسیب‌پذیری} \quad (۱)$$

روش فرآیند سلسله‌مراتبی فازی[5]: روش تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این روش در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی ارائه شده است (۱۱). تطابق بالای این روش را با ذهن افراد نشان داده و مسأله اصلی را با ساختار سلسله‌مراتبی به‌صورت ساده‌تر نشان می‌دهد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی بر ۳ اصل استوار است:

۱- برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای برای مسأله

۲- برقراری ترجیحات زوجی از طریق مقایسه زوجی

۳- برقراری سازگاری منطقی بین اندازه‌گیری‌ها

در این پژوهش جهت تجمیع ریسک در ساختار سلسله‌مراتبی مشخص بودن وزن اجزا و خطرات جهت تجمیع وزنی ریسک ضروری است همچنین جهت به‌دست آوردن شدت اثر کل (عواقب وقوع) و آسیب‌پذیری کل لازم است تا معیارهای آسیب‌پذیری و شدت اثر به‌صورت وزنی ترکیب گردند از این‌رو جهت مشخص کردن اوزان مذکور از مقایسات زوجی و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است.

جهت اطمینان از صحت نظرسنجی‌های صورت گرفته، نظرسنجی در بین پژوهشگران مسلط بر فرآیند انتقال و توزیع آب در شبکه قزوین و کارمندان شرکت بهره‌برداری با تحصیلات دانشگاهی انجام شد. همچنین بر اساس منابع جهت انجام تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی، حداقل تعداد افراد مشارکت داده شده برای هر مقایسه زوجی ۵ نفر می‌باشد که میانگین نظرات افراد مبنای محاسبه قرار گرفته است.

1- Risk
2- Probability
3- Consequence
4- Vulnerability
5- Analytical Hierarchy Process (AHP)

جهت دریافت نظر کارشناسان و تشکیل ماتریس مقایسه زوجی از عبارات برتری ارائه شده در جدول ۱ استفاده شده است. پس از تکمیل ماتریس محاسبه وزن، اعداد فازی ارائه شده در جدول ۱ جایگزین عبارت‌های زبانی و مقدار عددی شده‌اند و در گام بعد جهت تجمیع نظر کارشناسان محاسبه وزن گزینه‌ها از رویکرد پیشنهادی باکلی استفاده گردیده است (۱۲). بر این اساس وزن گزینه‌ها به کمک رابطه‌های ۲ تا ۵ استخراج می‌شود:

$$\forall\widetilde{A_{ij}}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})\Rightarrow \quad (۲)$$

$$a_{ij}^{t}=\left(\prod_{j=1}^{n}a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \quad b_{ij}^{t}=\left(\prod_{j=1}^{n}b_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \quad c_{ij}^{t}=\left(\prod_{j=1}^{n}c_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}) \quad (۳)$$

$$a^{t}=\sum_{i=1}^{n}a_{ij}^{t} \quad b^{t}=\sum_{i=1}^{n}b_{ij}^{t} \quad c^{t}=\sum_{i=1}^{n}c_{ij}^{t} \quad (٤)$$

$$\widetilde{w}_i=\left[\frac{a_{ij}^{t}}{c^{t}},\frac{b_{ij}^{t}}{b^{t}},\frac{c_{ij}^{t}}{a^{t}}\right] \quad (۵)$$
$$i,j=1:n$$

که در آن‌ها، n بعد ماتریس مقایسه زوجی، $\forall\widetilde{A_{ij}}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})$ درایه i,j در ماتریس مقایسه زوجی، a_{ij}^{t}وb_{ij}^{t}وc_{ij}^{t} میانگین هندسی سطری عضو اول و دوم و سوم عدد فازی مثلثی درایه‌های ماتریس، a^{t} و b^{t} و c^{t} به‌ترتیب میانگین هندسی سطری عضو اول و دوم سوم اعداد فازی مثلثی به‌دست آمده از میانگین‌گیری سطری ماتریس تلفیقی $\widetilde{w}_i$ وزن فازی نهایی به‌دست آمده برای هر معیار (سطر).

جدول ۱- مقادیر عددی و فازی ارجحیت‌ها برای مقایسه زوجی خطرات، اجزا، معیارهای آسیب‌پذیری و شدت اثر.

Table 1. Priority crisp and fuzzy value for pair-wise comparison of hazards, component, consequence and vulnerability assessment criteria.

P	مقدار عددی (numerical value)	ارجحیت فازی مثلثی (Triangular fuzzy preferences)
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاًمطلوب‌تر (Absolutely More important)	9	(8,9,9)
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی (Very Strongly More important)	7	(6,7,8)
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی (Strongly More important)	5	(4,5,6)
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر (Weakly Important)	3	(2,3,4)
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally Important)	1	(1,1,2)
ارجحیت بینابینی (Intermediate value)	8،6،4،2	-

روش مجموع وزین ساده فازی[1]: در این پژوهش پارامترهای ریسک (احتمال، شدت اثر، آسیب‌پذیری) مستقل از هم هستند و هدف مقایسه این پارامترها نیست بلکه هدف محاسبه امتیاز ترکیب سه پارامتر مذکور است در این پژوهش از روش SAW به‌عنوان روش تجمیع استفاده شده است.

$$\widetilde{U}_i = \widetilde{\sum_{j=1}^{n} \widetilde{W}_j \widetilde{r}_{ij}} \qquad (۶)$$

که در آن، $\widetilde{W}_j$ وزن هر یک از شاخص‌ها در محاسبه شدت اثر و آسیب‌پذیری و یا وزن هر یک از خطرات و اجزا سیستم در مرحله تجمیع ریسک و به‌صورت فازی می‌باشد، $\tilde{r}_{ij}$ امتیاز گزینه iام در شاخص jام به‌صورت فازی، $\widetilde{U}_i$ مقدار نهایی شدت اثر یا آسیب‌پذیری (در محاسبه پارامترهای ریسک) و مقدار ریسک تجمیع شده برای گزینه iام.

به‌طورکلی رویکرد استفاده از روش‌های ریاضی در پژوهش فوق یک رویکرد ترکیبی است به‌طوری‌که از روش AHP برای وزن‌دهی به معیارها و تجزا از طریق مقایسه زوجی استفاده شده است و از روش SAW برای محاسبه نمره گزینه‌ها همچنین در مراحل مختلف، محاسبات و نتایج بر اساس اعداد فازی می‌باشد.

غیرفازی‌سازی: یکی از اقداماتی که در مراحل نهایی تحلیل ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد تبدیل اعداد فازی به نتایج به‌دست آمده به اعداد صریح می‌باشد. در این پژوهش روش مرکز سطح به‌عنوان یک روش رایج برای غیرفازی‌سازی نتایج پیشنهاد شده است (۱۴).

$$z = \frac{\int_z \mu_A(z) z dz}{\int_z \mu_A(z) dz} \qquad (۷)$$

که در آن، z مقدار غیرفازی‌شده عدد فازی A و $\mu_A(z)$ درجه عضویت فازی z می‌باشد.

گام‌های تحلیل ریسک

گام ۱: شناسایی اجزا و تجزیه سیستم در قالب ساختار سلسله‌مراتبی

ساختار سلسله‌مراتبی شبکه آبیاری

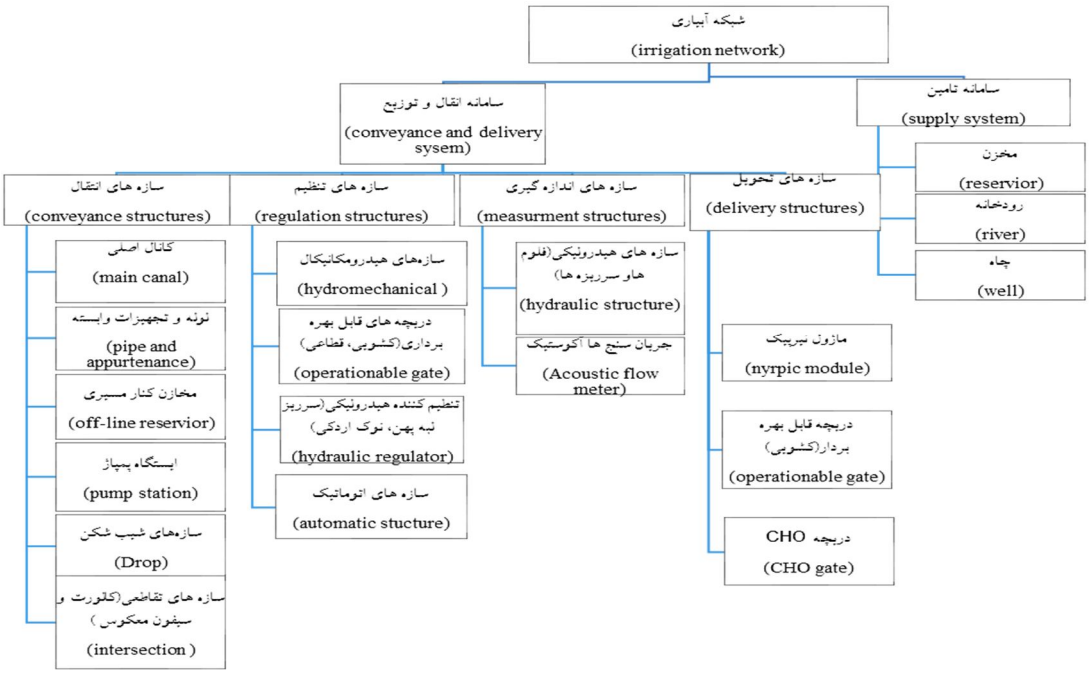
در فرآیند تأمین، انتقال و توزیع آب کشاورزی اجزا و سازه‌های مختلف نقش دارند که جهت سهولت بررسی، اجزا در قالب یک ساختار سلسله‌مراتبی ارائه شده است. ساختار ارائه شده یک ساختار جامع می‌باشد و تحلیل همه شبکه‌های موجود با انواع روش‌های بهره‌برداری به کمک این ساختار امکان‌پذیر است. به‌طورکلی شبکه آبیاری از دو جز اساسی تشکیل‌شده است که عبارت‌اند از: ۱- سامانه تأمین ۲- سامانه انتقال، تحویل و توزیع متعاقباً هر کدام از اجزا اصلی خود از چندسازه، جزو غیره تشکیل شده‌اند. بر پایه یافته‌های پژوهش پیش‌رو، ساختار سلسله‌مراتبی شبکه آبیاری در شکل ۱ ارائه می‌گردد.

1- Fuzzy Simple Additive Weighting (FSAW)

گام دوم: شناسایی خطرات

گام دوم در تحلیل ریسک شبکه شناسایی خطراتی است که در مراحل مختلف انتقال و توزیع آب عملکرد شبکه را تهدید می‌کنند و یکی از گام‌های کلیدی در فرآیند تحلیل ریسک بوده و نیازمند آگاهی همه‌جانبه نسبت به اجزا شبکه و عملکرد آن‌ها می‌باشد. با توجه به عدم وجود اطلاعات ثبت شده در مورد وقوع خطرات در شبکه‌های آبیاری در این مطالعه خطرات بر اساس پرسشنامه، مصاحبه حضوری و تلفنی با کارشناسان و خبرگان شناسایی شده است.

همه خطرات شناسایی‌شده در قالب دو زیرسیستم تأمین آب و انتقال، تحویل و توزیع در جدول ۲ ارائه شده است. خطرات ارائه شده به‌صورت کلی ارائه شده و با توجه به ساختار منطقه مورد مطالعه ممکن است برخی خطرات و اجزا از ساختار حذف شوند.



شکل ۱- ساختار کلی شبکه آبیاری.

Figure 1. General structure of irrigation network.

جدول ۲- خطرات شناسایی‌شده تهدیدکننده سیستم‌های انتقال آب کشاورزی (بر اساس یافته‌های این پژوهش).

Table 2. Identified treating hazards for agriculture water conveyance system (according to findings of this study).

جز (component)	خطرات (Hazards)	جز (Component)	خطرات (Hazards)
تنظیم‌کننده هیدرولیکی (Hydraulic regulator)	تعمیر و نگه‌داری ضعیف (poor maintenance)	کانال اصلی (Main Canal)	طراحی ضعیف انشعابات (Poorly design of canal reaches)
	خرابکاری (vandalism)		نشت (Seepage)
	شکست سیستم ارتباطی (Failure of communication systems)		اجرا ضعیف انشعابات (Poorly execution of canal reaches)
سازه‌های اتوماتیک (Automatic structure)	شکست تأمین انرژی (خورشیدی یا برق) (Failure of power supply)		عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)
	ضعیف بازرسی دوره‌ای (Poor Inspection)		آب دزدی (Water theft)
	دزدی و خرابکاری در محل (On-site vandalism)		کاهش ظرفیت به‌دلیل رسوب ناشی از طوفان و باد (Filling the canal capacity by sand storm and wind erosion)
سازه‌های هیدرولیکی (سرریز و فلوم) (Hydraulic structure)	خطای نیروی کار کم‌تجربه (Untrained operators error)	لوله و تجهیزات وابسته (Pipes and Appurtenance)	سالخوردگی تجهیزات (Equipment aging)
	کالیبراسیون و نگه‌داری ضعیف (Inaccurate calibration and poor maintenance)		طراحی و اجرا ضعیف (Poorly designed and execute)
	دزدی و خرابکاری (Vandalism/theft of onsite equipment)		عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)
جریان‌سنج‌ها آکوستیک (Acoustic flow meter)	شکست سیستم ارتباطی (Failure of communication systems)		بار خارجی (External loads)
	شکست تأمین انرژی (خورشیدی یا برق) (Failure of power supply)	مخازن کنار مسیری (Off-line Reservoirs)	شکست تجهیزات بهره‌برداری اتوماتیک (در روش اتوماتیک) (Failure of Automatic Operation in Automatic Operation)
	نصب و نگه‌داری ضعیف (Poor Installation and Maintenance)		خطای نیروی کار کم تجربی (در بهره‌برداری دستی) (Untrained or inexperienced operators error in Manual Operation)
	نصب و نگه‌داری ضعیف (Poor Installation and Maintenance)		عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)
ماژول نیرپیک (Nyrpic module)	خرابکاری (Vandalism)	ایستگاه پمپاژ (Pump station)	قطعی برق (Power Outage)
			نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

جز (component)	خطرات (Hazards)	جز (Component)	خطرات (Hazards)
دریچه‌های قابل بهره‌برداری (Operation able Gates)	کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)		سالخوردگی تجهیزات (Equipment aging)
	خطای نیروی کار کم‌تجربه (Untrained operators error)		
	عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)		
دریچه CHO	کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)	سازه شیب‌شکن (Drop structure)	طراحی و اجرا ضعیف (Poorly designed and executed structures)
	خطای نیروی کار کم‌تجربه (Untrained operators error)		عملکرد ضعیف حوضچه آرامش (Poor Operation of the Stilling Basin)
	خرابکاری (Vandalism)		شکست سازه حفاظتی (Failure of protection structures)
	نصب و نگه‌داری ضعیف (Poor Installation and Maintenance)		حوادث غیرمترقبه (unexpected event)
	سیلاب (Flood)	سازه‌های تقاطعی (Intersection structure)	آب‌گرفتگی ناشی از وجود آشغال (Waterlogging due to failure of Trash Rack)
مخزن (Reservoir)	خشکسالی (Drought)		عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)
	بهره‌برداری ضعیف از مخزن (Poor performance)		طراحی و اجرا ضعیف (Poorly designed and executed structures)
	خشک‌سالی (Drought)		دزدی و خرابکاری (Vandalism/theft of onsite equipment)
رودخانه (River)	نوسان جریان آب (Water Inflow fluctuation)	سازه‌های هیدرومکانیکال (Hydro mechanical structure)	کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)
	رسوب (sediment)		سال‌خوردگی (Equipment aging)
	سیلاب (Flood)		عملیات تعمیر و نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)
	خشکسالی (Drought)		کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)
چاه (Well)	شکست تأمین برق و سیستم پمپاژ (Power Outage and pump failure)	دریچه‌های قابل بهره‌برداری (کشویی، چک) (Operation able Gates)	تعمیر و نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)
	نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)		خطای نیروی انسانی کم‌تجربه (Untrained or inexperienced operators error)
			شکست تأمین انرژی (خورشیدی یا برق) (Failure of power supply (Outage or solar cell malfunction))

گام سوم: محاسبه پارامترهای ریسک

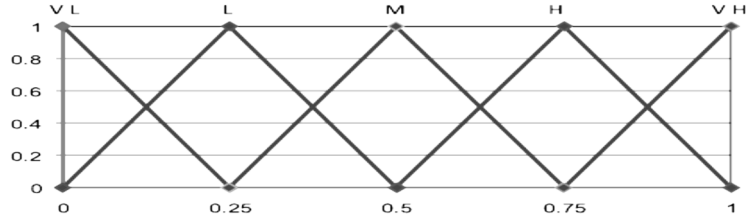
۱- احتمال وقوع

احتمال شکست به تواتر وقوع یک پدیده اتلاق می‌شود. در مورد شبکه‌های آبیاری اطلاعات ثبت‌شده و مدون در مورد بروز خطرات وجود ندارد، مطلوب‌ترین راه‌حل جهت تعیین احتمال وقوع رجوع به کارشناسان بود. کارشناسان نظر خود را در مورد احتمال وقوع خطر در قالب متغیرهای بیانی ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۲ بیان نمایند؛ که این عبارات در مراحل محاسبه با اعداد فازی ارائه شده در جدول ۳ جایگزین خواهند شد. با توجه به این‌که نظر کارشناسان، اطلاعات ورودی مدل تحلیل ریسک را تشکیل می‌دهد و دارای شکل توزیع خاصی نیست توابع عضویت فازی خطی برای این پژوهش مناسب می‌باشند. از سوی دیگر چون هدف در نظر گرفتن عدم قطعیت اعداد است و نه بازه‌ها استفاده از توابع ذوزنقه‌ای رد گردیده و توابع عضویت مثلثی برای مدل مورد استفاده گردیده است. این توابع به‌صورت مجموعه‌های سه‌تایی (x,y,z) می‌باشند و عدد وسط با بیش‌ترین مقدار تابع عضویت محتمل‌ترین عدد در صورت وقوع می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، تابع استفاده شده در این پژوهش در مطالعات مشابه مانند: صادق و همکاران (۲۰۰۷)، داگدویرن و همکاران (۲۰۰۸)، شهریار و همکاران (۲۰۱۲)، لیما و همکاران (۲۰۱٤) و توپوز وگست (۲۰۱٦) مورد استفاده قرار گرفته است (۱۵، ۱٦، ۱۷، ۱۸ و ۱۹).

جدول ۳- اعداد فازی متغیرهای زبانی مورد استفاده در این پژوهش.

Table 3. Fuzzy numbers of linguistic variables are used in this study.

متغیرهای بیانی (linguistic variables)	خیلی‌زیاد (Very high)	زیاد (High)	متوسط (Medium)	کم (Low)	خیلی‌کم (Very low)
اعداد فازی (Fuzzy number)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,0.1)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0,0,0.25)



شکل ۲- توابع عضویت فازی مربوط به عبارت‌های زبانی.

Figure 2. Fuzzy membership function related to linguistic variables.

۲- شدت اثر

در واقع محاسبه شدت اثر به بررسی و برآورد اثرات منفی حاصل از وقوع خطر می‌پردازد. برآورد شدت اثر با این فرض انجام می‌شود که سیستم در مقابل خطر کاملاً آسیب‌پذیر است و صد درصد دچار آسیب می‌شود (۲۰).

در این پژوهش ارزیابی شدت اثر بر اساس معیارهایی که تدوین گردیده است انجام می‌شود.

جهت مشخص شدن شدت اثر هر خطر هر بخش ابتدا کارشناسان مختلف به مقایسه زوجی معیارها می‌پردازند و به کمک عبارت‌های بیانی جدول ۱ اهمیت معیارها را در مقایسه با یکدیگر مشخص می‌نمایند در نهایت بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وزن هر یک از معیار مشخص می‌گردد. پس از مشخص شدن وزن معیارها نظر کارشناسان در مورد شدت وقوع خطرات دریافت می‌گردد. در این بخش نیز کارشناسان مشابه محاسبه احتمال وقوع از جدول ٤ برای ارائه نظرات استفاده می‌نمایند. در نهایت به کمک روش مجموع وزین ساده فازی امتیاز خطر یا به‌عبارت دیگر شدت اثر کل خطر بر روی جز مشخص می‌شود.

معیارهای ارزیابی شدت اثر متناسب با شبکه‌های آبیاری به‌شرح زیر معرفی می‌گردند:

✓ کفایت تحویل ($C1$): بر اساس این معیار باید مشخص شود که در صورت بروز خطر میزان کمبود تأمین آب چقدر خواهد بود.

✓ عدالت تحویل ($C2$): بر اساس این معیار باید مشخص شود در صورت بروز تهدید میزان دسترسی کشاورزان به حقابه‌های تعیین شده چقدر خواهد بود.

✓ ارزش عملکردی ($C3$): در صورت بروز خطر و آسیب دیدن جز کارکرد سیستم تا چه حد دچار اختلال می‌شود.

✓ عواقب اقتصادی ($C4$): در صورت بروز خطر خسارت‌های سرمایه‌گذاری جهت بازگشت سیستم به حالت اولیه و خسارت‌های ثانویه ناشی از کاهش سطح خدمات چقدر خواهد بود.

✓ راندمان ($C5$): در صورت بروز خطر تغییرات نسبت آب موردنیاز و آب تحویلی چگونه خواهد بود؟

۳- آسیب‌پذیری

این پارامتر جزو خواص ذاتی می‌باشد و در مقابل هر خطر متفاوت است. در واقع توان مقابله فعال و غیرفعال سیستم در مقابل خطرات است. در برنامه مدیریت ریسک یکی از اقدامات مهم در زمینه کاهش ریسک، کاهش آسیب‌پذیری سیستم در مقابل خطرات می‌باشد.

محاسبه آسیب‌پذیری مشابه محاسبه شدت اثر بر اساس معیارهای تدوین‌شده و وزن‌دهی به معیارها با مقایسه زوجی و در نهایت دریافت نظر کارشناسان در قالب اعداد فازی انجام می‌شود.

معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری اجزا در مقابل خطرات به‌شرح زیر است:

- آسیب‌پذیری سازه‌ای و غیرسازه‌ای ($V1$): هر کدام از اجزا با توجه به طراحی و ماهیت سازه‌ای خود و وظیفه‌ای که در سیستم دارند نسبت به خطرات دارای آسیب‌پذیری هستند.
- قابلیت بازگشت به حالت اولیه ($V2$): این شاخص بر روی پیش‌بینی ابزار و روش‌های مدیریت جهت بازسازی سریع تأکید دارد.
- امکان دسترسی به‌جز ($V3$): در معرض خطر بودن یکی از عوامل مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری است. این شاخص بیش‌تر بر روی ارزیابی آسیب‌پذیری در مقابل خطرات انسان‌ساز و خرابکاری تأکید دارند.
- انعطاف‌پذیری ($V5$): به بررسی قابلیت سیستم در انطباق خود در مقابله با خطرات و تغییراتی هم‌چون افزایش تقاضا و ... می‌پردازد.
- وجود ابزار شناسایی و پیشگیری از خطر ($V6$): به بررسی ابزار مانیتورینگ و تشخیص خطر برای مقابله با خطر می‌پردازد.

گام چهارم: محاسبه ریسک

بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی شبکه در چارچوب یک ساختار نظام‌مند و در قالب سطوح مختلف تقسیم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد و خروجی محاسبات ریسک در هر سطح به‌عنوان ورودی سطح بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پایین‌ترین سطح ساختار سلسله‌مراتبی، ریسک خطرات و در بالاترین سطح نیز ریسک کل سیستم محاسبه خواهد شد.

بر این اساس گام اول محاسبه ریسک خطرات می‌باشد که سه پارامتر ریسک که در مراحل قبل برای هر خطر محاسبه شده‌اند بر اساس رابطه ۸ در هم ضرب گردیده و ریسک در سطح خطرات محاسبه می‌شود.

ریسک در سطح خطرات

پس از محاسبه ریسک خطرات باید به کمک تابع تجمیع (مجموع وزین ساده) بر اساس ساختار سلسله‌مراتبی ریسک سایر اجزا ساختار سلسله‌مراتبی محاسبه گرد. جدول ٤ ترتیب محاسبه ورودی و خروجی هر مرحله ارایه شده است.

$$\tilde{R}_H = \tilde{P}_H \times \tilde{C}_H \times \tilde{V}_H \; ; H=1,...,H \qquad (۸)$$

جدول ٤- ترتیب محاسبه ریسک در ساختار سلسله‌مراتبی.

Table 4. Risk calculation order in hierarchical structure.

ترتیب محاسبه (Calculation order)	سطح (Level)	ورودی (Input)	خروجی (Out put)
1	اجزا (Components)	ریسک خطرات مرتب با هر جز (Calculated risk of each related hazard to component)	ریسک اجزا (Risk of Components)
2	سازه‌ها (structures)	ریسک اجزا (Risk of related component to structures)	ریسک سازه‌ها (Risk of structures)
3	سیستم‌ها (systems)	سازه‌ها (Risk of related structures to systems)	ریسک سیستم‌ها (Risk of structures)
4	شبکه آبیاری (Irrigation network)	ریسگ سیستم تامین و انتقال (Risk of conveyance and delivery system and supply system)	ریسک کل (Total risk)

تحلیل حساسیت: جهت تعیین تأثیر تابع فازی مورد استفاده در فرآیند تحلیل ریسک (جدول ۳)، بر اساس روش ارایه شده در شاکری و نظیف (۲۰۱٦)، در بازه صفر تا ۱ نواحی همپوشانی بین تابع فازی هر عبارت زبانی و توابع فازی عبارت زبانی قبل و بعد که بیانگر عدم قطعیت انتخاب عبارت می‌باشد در مجموع به‌میزان ۱۰ درصد کاهش و افزایش پیدا کرد و تغییرات در میزان ریسک محاسبه شده و اولویت‌بندی پرریسک‌ترین خطرات مورد بررسی قرار گرفت (۲۱). جدول‌های ۵ و ٦ اعداد فازی با ۱۰ درصد افزایش و کاهش را نشان می‌دهد.

جدول ۵- اعداد فازی عبارت‌های زبانی با ۱۰ درصد افزایش منطقه همپوشانی.

Table 5. Fuzzy numbers of linguistic variables with 10% increase in overlap area.

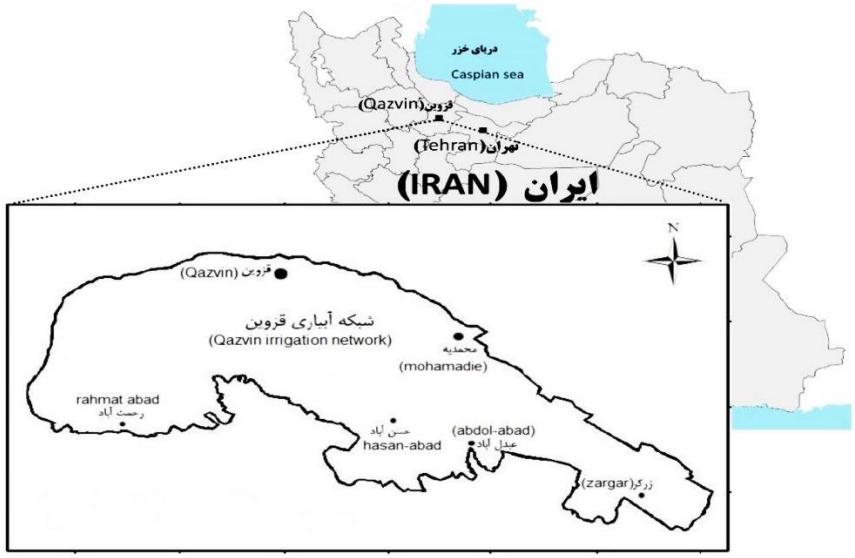
متغیرهای بیانی (linguistic variables)	خیلی زیاد (Very high)	زیاد (High)	متوسط (Medium)	کم (Low)	خیلی کم (Very low)
اعداد فازی (Fuzzy number)	(0.738,1,1)	(0.488,0.75,1)	(0.238,0.5,0.762)	(0,0.25,0.512)	(0,0,0.262)

جدول ٦- اعداد فازی عبارت‌های زبانی با ۱۰ درصد کاهش منطقه همپوشانی.

Table 6. Fuzzy numbers of linguistic variables with 10% decrease in overlap area.

متغیرهای بیانی (linguistic variables)	خیلی زیاد (Very high)	زیاد (High)	متوسط (Medium)	کم (Low)	خیلی کم (Very low)
اعداد فازی (Fuzzy number)	(0.762,1,1)	(0.512,0.75,0.988)	(0.262,0.5,0.738)	(0.012,0.25,0.488)	(0,0,0.238)

منطقه مورد مطالعه: شبکه آبیاری دشت قزوین به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین شبکه‌های آبیاری کشور به‌عنوان نمونه مطالعاتی این پژوهش در نظر گرفته شده است. شبکه مذکور با وسعتی معادل ۸۰۰۰۰ هکتار ناخالص به‌صورت نواری است به طول ۹٤ کیلومتر که از محدوده زیاران شروع شد و به اراضی کهک تاکستان منتهی می‌شود. با مصاحبه‌های صورت گرفته در جریان این پژوهش و نیز بررسی مطالعات صورت گرفته (۹، ۲۲ و ۲۳). در این شبکه مشخص گردید، محدودیت تأمین آب، راندمان پایین، تغییر الگوی کشت، مشارکت نداشتن آب بران در نگه‌داری شبکه برخی از مشکلات شبکه می‌باشد. از سوی دیگر شبکه آبیاری قزوین همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است و همچنین بر اساس مصوبه هیأت وزیران در سال ۱۳۸۵ مورد مرمت و نوسازی کلی قرار گرفته است. بنابراین عملیات نگه‌داری معوق در این شبکه حداقل می‌باشد و مورد مطالعاتی خوبی برای رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی می‌باشد. جزییات مربوط به انواع سازه‌های سامانه اصلی انتقال آب شبکه آبیاری قزوین شامل کانال اصلی و کانال‌های درجه دو در (هاشمی‌شاهدانی، ۲۰۰۸) ارائه شده است (۲٤). آب مورد نیاز این شبکه از سد مخزنی طالقان و چاه‌های عمیق موجود در منطقه تأمین می‌شود. محدود جغرافیایی و شکل شماتیک شبکه آبیاری قزوین در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- موقعیت شبکه آبیاری قزوین در ایران.

Figure 3. Location of Qazvin irrigation network in Iran.

نتایج و بحث

ساختار ارائه شده سلسله‌مراتبی در گام اول، بر اساس سازه‌های موجود شبکه آبیاری قزوین اصلاح شد. بر این اساس اجزایی مانند اجزا کنترل خودکار، سرریز خودکار، سازه‌های اندازه‌گیری و ... که در شبکه مورد مطالعه وجود ندارند از روند نظرسنجی و بررسی حذف گردید.

نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی و مقایسات زوجی: همان‌طور که در قسمت‌های قبل اشاره شد جهت تعیین وزن معیارهای آسیب‌پذیری، شدت اثر، وزن اجزا و وزن خطرات از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. با توجه به گستردگی محاسبات و حجم اطلاعات، از ارائه نظرات کارشناسان و مقایسات زوجی در نتایج صرف‌نظر شده و صرفاً نتایج خروجی مدل مورد بررسی قرار گرفته است و به‌عنوان نمونه وزن‌های به‌دست آمده برای معیارهای شدت اثر و آسیب‌پذیری ذیلاً در جدول ۷ تشریح شده است.

جدول ۷- وزن معیارهای آسیب‌پذیری و شدت اثر.

Figure 7. Weight of consequence and vulnerability criteria.

وزن (Weight)	معیارهای آسیب‌پذیری (vulnerability criteria)	وزن (Weight)	معیارهای شدت اثر (Consequence criteria)
(0.191,0.3,0.442)	قابلیت دسترسی (accessibility)	(0.118,0.18,0.358)	کفایت تحویل (Adequacy)
(0.353,0.54,0.835)	وجود ابزار شناسایی و پیشگیری از خطر preventation of hazards) (Means to detect and	(0.102,0.18,0.311)	عدالت تحویل (Equity)
(0.065,0.10,0.142)	قابلیت بازگشت به حالت اولیه (Ability of recovery)	(0.044,0.07,0.135)	راندمان (Efficiency)
(0.045,0.07,0.102)	آسیب‌پذیری سازه‌ای و غیره سازه (Structural and nonstructural vulnerability)	(0.102,0.22,0.311)	عواقب اقتصادی (Economic loss)

نتایج تحلیل ریسک سامانه تأمین: نتایج مدل تحلیل ریسک سلسه‌مراتبی برای سامانه تأمین شبکه آبیاری قزوین در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس نتایج، در بین خطرات تهدیدکننده چاه و مخزن (به‌عنوان منابع تأمین آب شبکه قزوین)، خطر «خشکسالی» به‌ترتیب با مقدار غیرفازی ۱/۲۱۱ و ۱/۲۷۹ به‌عنوان پرریسک‌ترین خطر در بخش تأمین به‌دست آمده است. همچنین نتایج تجمیع خطرات تهدیدکننده منابع آب نشان داد که در مقایسه با سایر گزینه‌های تأمین آب شبکه آبیاری قزوین، مخزن تأمین‌کننده دارای ریسک بیش‌تری است و بیش‌تر در معرض خطر می‌باشد. همچنین با تجمیع ریسک زیر جزهای سیستم تأمین (چاه و مخزن) مقدار ریسک ۱/٤٤۹ می‌باشد.

نتایج تحلیل ریسک سیستم انتقال

نتایج تحلیل ریسک سازه‌های انتقال: نتایج ارزیابی ریسک خطرات تهدیدکننده سامانه انتقال در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج بیانگر آن است که در کانال اصلی خطرات «عملیات نگه‌داری ضعیف» و «نشت از کانال» بیش‌ترین ریسک را دارند. در بین خطرات تهدیدکننده سایر اجزای سازه‌های انتقال، خطر «عملکرد ضعیف حوضچه آرامش» واقع در پایین‌دست سازه شیب‌شکن بیش‌ترین میزان ریسک عملکرد شیب‌شکن مشخص شده است. همچنین «عملیات نگه‌داری ضعیف» به‌عنوان پرریسک‌ترین خطر سازه‌های تقاطعی به‌دست آمده است. در نهایت تجمیع خطرات سازه‌های انتقال گویای این مطلب بود که کانال اصلی با مقدار غیرفازی ۱/۵۲۸ نسبت به سایر سازه‌ها پیش‌ترین ریسک را به خود اختصاص داده است و سازه‌های تقاطع و شیب‌شکن در مراتب بعدی قرار دارند.

تحلیل ریسک سازه‌های تنظیم: نتایج این بخش در جدول ۱۰ ارائه شده است. در ارزیابی ریسک خطرات تهدیدکننده سازه‌های تنظیم خطر «دزدی و خرابکاری سازه‌های هیدرومکانیال» با مقدار عددی ۱/۱۸٤ بیش‌ترین ریسک را به خود اختصاص داد و خطای «نیروی انسانی کم‌تجربه» با مقدار غیرفازی ۱/۲۵۳ بیش‌ترین ریسک شکست را در سازه چک به خود اختصاص داد. همچنین نتایج تجمیع ریسک خطرات سازه‌های تنظیم نشان داد که سازه‌های هیدرومکانیکال دارای ریسک ۱/٤۹ و سازه چک دارای ریسک ۱/۲۲۷ می‌باشد که ناشی از خطرپذیر بودن بیش‌تر تنظیم‌کننده‌های آمیل واقع در سامانه اصلی انتقال آب می‌باشد.

نتایج تحلیل ریسک سازه‌های تحویل: نتایج ارزیابی ریسک خطرات تهدیدکننده عملکرد سازه‌های تحویل که در جدول ۱۱ ارائه شده است، به این شرح می‌باشد: در بخش دریچه‌های قابل بهره‌برداری خطای «نیروی انسانی کم‌تجربه» به‌عنوان پرریسک‌ترین به‌دست آمده است. در آبگیرهای مدول نیرپیک، جز دیگر سامانه تحویل، «خرابکاری» بیش‌ترین مقدار ریسک را به خود اختصاص داد. تجمیع ریسک خطرات سازه‌های تحویل، دریچه‌های قابل بهره‌برداری را نسبت به ماژول نیرپیک بحرانی‌تر و دارای ریسک شکست بیش‌تر معرفی کرد.

جدول ۸- خطرات سیستم تأمین.

Table 8. Treating hazards of supply system.

زیر جز (Sub-component)	خطر (Hazards)	فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)	زیر جز (Sub-component)	خطر (Hazards)	فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)
چاه (Well)	خشکسالی (Drought)	(0.051,0.543,3.0393)	1.211		سیلاب (Flood)	(0.002,0.133,1.145)	0.427
	شکست تأمین برق و سیستم پمپاژ (Power Outage and pump failure)	(0,0,0.464)	0.155	مخزن (Reservoir)	خشکسالی (Drought)	(0.099,0.776,2.963)	1.297
	نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)	(0.461,0.649,0.891)	0.667		بهره‌برداری ضعیف از مخزن (Poor performance)	(0.0.077,0.858)	0.312
	تجمیع ریسک خطرات (چاه) Aggregated risk of hazards (well)	(0.127,0.534,2.311)	0.99		تجمیع ریسک خطرات (مخزن) Aggregated risk (reservoir)	(0.052,0.578,3.191)	1.274

جدول ۹- نتایج تحلیل ریسک سازه‌های انتقال.

Table 9. Result of risk assessment of conveyance structure.

سازه‌های تنظیم (Conveyance structures)	خطر (Hazards)	ریسک فازی (Fuzzy risk)	غیر فازی (Defuzzified)	سازه‌های تنظیم (conveyance structures)	خطر (Hazards)	ریسک فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)
کانال اصلی (Main canal)	طراحی ضعیف انشعابات (Poorly design of canal reaches)	(0.0.08,0.84)	0.309		عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)	(0.002,0.50,0.737)	0.263
	اجرا ضعیف انشعابات (Poorly execution of canal reaches)	(0,0.066,0.806)	0.309		طراحی و اجرا ضعیف (Poorly designed and executed structures)	(0,0.019,0.460)	0.0160
	نشت (Seepage)	(0.0602,02.427,2.427)	1.204	شیب شکن (drop)	عملکرد ضعیف حوضچه آرامش (Poor Operation of the Stilling Basin)	(0.007,0.260,168)	0.652
	عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)	(0.166,1.189,3.919)	1.758		شکست سازه حفاظتی (Failure of protection structures)	(0,0,0.120)	0.040
	آب دزدی (Water theft)	(0.052,0.5604,2.913)	1.175		ریسک تجمیع شده (شیب‌شکن) Aggregated risk(drop)	(0.003,1.72,1.726)	0.633
	کاهش ظرفیت به دلیل رسوب ناشی از طوفان و باد (Filling the canal capacity by sand storm and wind erosion)	(0,0.0842,0.845)	0.310		حوادث غیرمترقبه (unexpected event)	(0.084,0.792,2.707)	1.194
	ریسک تجمیع شده (کانال اصلی) Aggregated risk (main canal)	(0.060,0.663.861)	1.528		آب‌گرفتگی ناشی از وجود آشغال (Waterlogging due to failure of Trash Rack)	(0.038,0.439,2.506)	0.994
				سازه‌های تقاطعی (intersection)	عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)	(0.099,0.835,3.919)	1.618
					طراحی و اجرا ضعیف (Poorly designed and executed structures)	(0,0.035,0.517)	0.184
					ریسک تجمیع شده (سازه تقاطعی) Aggregated risk(intersection)	(0.055,0.531,2.522)	1.036

جدول ۱۰- نتایج ریسک خطرات تهدیدکننده سازه‌های تنظیم.

Table 10. Result of risk assessment of regulation structures.

سازه‌های تنظیم (regulation structures)	خطر (Hazards)	ریسک فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)	سازه‌های تنظیم (regulation structures)	خطر (Hazards)	ریسک فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)
	دزدی و خرابکاری (Vandalism/theft of onsite equipment)	(0.095,0.675,2.783)	1.184		کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)	(0.049,0.415,2.249)	0.904
	کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)	(0.003,0.118,1.539)	0.554		تعمیر و نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)	(0,0,0.169)	0.056
سازه‌های هیدرومکانیکال (Hydro-mechanical structure)	سال‌خوردگی (Equipment aging)	(0.001,0.054,0.872)	0.309	چک (Check)	خطای نیروی انسانی کم‌تجربه (Untrained operators error)	(0.098,0.769,2.891)	1.253
	عملیات تعمیر و نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance activities)	(0.046,0.447,2.707)	1.0607		دزدی و خرابکاری (Vandalism/theft of onsite equipment)	(0,0,0.371)	0.124
	ریسک تجمیع شده (هیدرومکانیکال) Aggregated risk(hydro_mechanical)	(0.034,0.467,3.989)	1.497		ریسک تجمیع شده(چک) Aggregated risk(check)	(0.041,0.485,3.291)	1.272

جدول ۱۱- نتایج تحلیل ریسک سازه‌های تحویل.

Table 11. Result of risk assessment of delivery structures.

سازه‌های تحویل (Delivery structures)	خطر (Hazards)	ریسک فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)	سازه‌های تحویل (Delivery structures)	خطر (Hazards)	ریسک فازی (Fuzzy risk)	غیرفازی (Defuzzified)
دریچه‌های قابل بهره‌برداری (Operationable gate)	خرابکاری (Vandalism)	(0.006,0.212,1.550)	0.589	ماژول نیرپیک (Nyrpic module)	عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)	(0.15,0.222,1.837)	0.691
	کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)	(0.114,0.872,3.216)	1.401		کالیبراسیون نادقیق (Inaccurate calibration)	(0,0.080,0.996)	0.359
	خطای نیروی کار کم‌تجربه (Untrained operators error)	(0.173,1.172,3.279)	1.541		خرابکاری (Vandalism)	(0.159,1.186,3.66)	1.67
	عملیات نگه‌داری ضعیف (Poor maintenance)	(0,0.021,0.578)	0.200				
	ریسک تجمیع شده (دریچه قابل بهره‌برداری) Aggregated risk (operationable)	(0.0915,0.9255,4.132)	1.71		ریسک تجمیع شده (ماژول نیرپیک) Aggregated risk(Nyrpic module)	(0.086,0.890,4.005)	1.6607

نتایج تحلیل ریسک سامانه اصلی انتقال آب شبکه آبیاری قزوین: در این بخش جمع‌بندی نتایج ریسک در سامانه‌ها و کل شبکه ارائه شده است. نتایج کلی تجمیع ریسک، بر اساس نتایج ارائه‌شده در بخش‌های قبل محاسبه و برای هر کدام از بخش‌های سازه‌های انتقال، تنظیم و تحویل محاسبه در جدول ۱۲ ارائه شده است. بر این اساس، با وجود نزدیکی نتایج ریسک به‌دست آمده، سامانه تحویل به‌عنوان پرریسک‌ترین بخش سامانه مشخص شده است.

جدول ۱۲- ریسک سامانه‌ها تشکیل‌دهنده سامانه انتقال.

Table 12. Risk of conveyance element's.

سامانه (System)	سازه (Structure)	فازی (Fuzzy)	غیرفازی (Defuzzyfied)
سامانه انتقال (Conveyance system)	سازه‌های انتقال (Conveyance structures)	(0.036,0.827,3.979)	1.614
سامانه انتقال (Conveyance system)	سازه‌های تنظیم (Regulation structures)	(0.030,0.47,4.505)	1.668
سامانه انتقال (Conveyance system)	سازه‌های تحویل (Delivery structure)	(0.0714,0.896,4.931)	1.966

گام نهایی محاسبات در ساختار سلسله‌مراتبی تجمیع ریسک سازه‌های و مشخص کردن سامانه انتقال و تأمین و مشخص کردن ریسک کل سیستم بود. بر اساس نتایج سامانه انتقال با مقداری غیرفازی ۱/۹۳۷ نسبت به سامانه تأمین با مقدار عددی ۱/٤٤۹ دارای ریسک بیش‌تری قرار دارد و در نهایت با تجمیع ریسک سامانه‌های اصلی تشکیل‌دهنده شبکه مقدار ۲/٦۸۳ به‌عنوان ریسک کل به‌دست آمد.

تحلیل حساسیت: بر اساس نتایج تحلیل حساسیت در ریسک کل سیستم با افزایش نواحی همپوشانی ۱/۲ درصد افزایش و با کاهش نواحی اشتراک ۲/۱۲ درصد کاهش پیدا می‌کند. سیستم‌ها انتقال و تامین با کاهش همپوشانی به‌ترتیب ۱/۷ و ۲/۱ درصد کاهش پیدا کرده و همچنین با افزایش همپوشانی به‌ترتیب ۰/۸ و ۱/۰۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. در بین اجزا تشکیل‌دهنده سیستم بیش‌ترین تغییر در ریسک محاسبه شده مربوط به دراپ با ۳ درصد تغییر ریسک می‌باشد. در سطح خطرات در اولویت‌بندی خطراتی که در قسمت نتایج به‌عنوان پرریسک‌ترین خطرات معرفی شده‌اند با تغییر منطقه همپوشانی تحت‌تأثیر قرار نگرفت. در مجموع نتایج تحلیل حساسیت گویای دقت مدل تحلیل ریسک و تأثیر ناچیز تغییر تابع عضویت فازی در بازه ۱۰ درصد بر نتایج می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ساختار جدید تحلیل ریسک سامانه‌های اصلی انتقال آب شبکه‌های آبیاری شامل کانال اصلی و کانال‌های درجه دوم، با استفاده از روش تحلیل ریسک سلسله‌مراتبی معرفی گردید. در فرآیند پژوهش ابتدا یک ساختار سلسله‌مراتبی جامع برای شبکه‌های آبیاری ارائه گردید و سپس خطرات تهدیدکننده هر جز شناسایی و با دریافت نظرات کارشناسی احتمال وقوع، شدت اثر هر یک از خطرات

و آسیب‌پذیری در مقابل خطرات مشخص گردید. جهت تجمیع ریسک در سطوح بالاتر از روش مجموع وزین ساده استفاده شد. همچنین از اعداد فازی جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت نظر کارشناسان استفاده شده است.

ساختار تحلیل ریسک ارائه شده در این پژوهش، به‌منظور تحلیل ریسک سامانه اصلی انتقال آب شبکه آبیاری قزوین مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، خطرات «عملیات نگه‌داری ضعیف» و «نشت از کانال»، در کانال اصلی، «نگه‌داری ضعیف» در سازه‌های تقاطعی، «نیروی کار کم‌تجربه» در دریچه‌های قابل بهره‌برداری، «خرابکاری» در دریچه‌های آبگیری مدول نیرپیک، «خشکسالی» در مخزن، «خطای نیروی انسانی» در سازه تنظیم چک، «خشکسالی» در چاه، «نگهداری ضعیف» در سازه تقاطعی، «دزدی و خرابکاری» در سازه‌های هیدرومکانیکال آمیل به‌عنوان پرریسک‌ترین خطرات شناسایی شدند. همچنین بیش‌ترین ریسک در بین اجزای سامانه اصلی انتقال آب شبکه آبیاری (از بین سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب) برای سامانه تحویل شناسایی شد. جهت بهبود کارایی مدل تحلیل ریسک سلسله‌مراتبی توصیه می‌شود که پژوهش‌های آتی به مواردی مانند: بررسی وابستگی ذاتی اجزا و تأثیرات متقابل اجزا بر روی ریسک و همچنین ارزیابی آسیب‌پذیری پنهان بپردازند.

با توجه به تجربه موفقیت‌آمیز روش‌های تحلیل ریسک در بررسی خطرات سیستم‌های گسترده مشابه سیستم‌های انتقال و توزیع این پژوهش، مانند سیستم آبرسانی شهری و سیستم جمع‌آوری فاضلاب، به‌کارگیری رویکرد مذکور به‌عنوان بخشی از فرآیند مدیریت شبکه‌های آبیاری کشور توصیه می‌شود. از نقطه‌نظر کاربردی، ساختار ارائه شده در این پژوهش پتانسیل استفاده به‌عنوان یک روش پیش‌پردازش در پروژه‌های ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، برنامه‌ریزی سالانه تعمیرات و نگهداری شبکه و نیز مدیریت بهره‌برداری کانال‌های آبیاری را دارا می‌باشد.

سپاسگزاری

با توجه به این‌که مقاله پیش‌رو با حمایت مالی دفتر پژوهش‌های کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران در قالب پروژه تحقیقاتی شماره ۵-۳۶۰/۴۹۶۰ صورت پذیرفته است، بنابراین نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را از شرکت مذکور می‌نمایند.

منابع

1.Asgarian, M., Tabesh, M., and Roozbahani, A. 2013. Risk assessment of wastewater collection performance using the fuzzy decision-making approach. J. Water Wastewater. 26: 4. 74-87. (In Persian)
2.Buckley, J.J. 1985. Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy Sets and Systems. 17: 3. 233-247.
3.Dağdeviren, M., and Yüksel, İ. 2008. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. Inf. Sci. J. 178: 6. 1717-1733.
4.Elsawah, H., Guerrero, M., and Moselhi, O. 2014. Decision support model for integrated intervention plans of municipal infrastructure. P 1039-1050, In ICSI 2014: Creating Infrastructure for a Sustainable World. American Society of Civil Engineers.
5.Fares, H., and Zayed, T. 2010. Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains. Pipe. Syst. Engin. Prac. J. 1: 1. 53-62.
6.Hashemy Shahdany, S. 2008. Spatial and temporal clustering of irrigation networks by using hard and fuzzy methods, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)

7.Hatam, A., Monem, M.J., and bagheri, A. 2013. System dynamics model development for irrigation network rehabilitation, Considering Farmers Participation and Personnel Promotion. J. Agric. Engin. Res. 13: 4. 1-24.
8.Inanloo, B., Tansel, B., Shams, K., Jin, X., and Gan, A. 2016. A decision aid GIS-based risk assessment and vulnerability analysis approach for transportation and pipeline networks. Safety Sci. J. 84: 57-66.
9.Lee, C. 1990. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I.IEEE Transactions on systems, Man. Cybernet. J. 20: 2. 404-418.
10.Lima Junior, F.R., Osiro, L., and Carpinetti, L.C.R. 2014. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Appl. Soft Comp. J. 21: 194-209.
11.Macey, C., Garcia, D., Croft, B., and Davidson, J. 2014. Risk-based condition assessment and rehabilitation planning in Colorado Springs, in pipelines 2014. American Society of Civil Engineers. Pp: 230-244.
12.Modarres, M., and Sadi-Nezhad, S. 2005. Fuzzy simple additive weighting method by preference ratio. Intell. Auto. Soft Comp. J. 11: 4. 235-244.
13.Monem, M.J., and Hashemy Shahdany, S. 2011. Spatial clustering of irrigation networks using K-means method (Case study: Ghazvin Irrigation Network). J. Iran Water Resour. Res. 7: 1. 38-46. (In Persian)
14.Rahman, S., Devera, J., and Reynolds, J. 2014. Risk assessment model for pipe rehabilitation and replacement in a water distribution system, in pipelines 2014: From Underground to the Forefront of Innovation and Sustainability. American Society of Civil Engineers. Pp: 1997-2006.
15.Roozbahani, A., Zahraie, B., and Tabesh, M. 2012. Water quantity and quality risk assessment of urban water supply systems with consideration of uncertainties. J. Water Wastewater. 4: 2-14. (In Persian)
16.Roozbahani, A., Zahraie, B., and Tabesh, M. 2013. Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap. Stochastic Environ. Res. Risk Assess. J. 27: 4. 923-944.
17.Saaty, T.L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. Europ. J. Oper. Res. 48: 1. 9-26.
18.Sadiq, R., Kleiner, Y., and Rajani, B. 2007. Water quality failures in distribution networks-risk analysis using fuzzy logic and evidential reasoning. Risk Anal. J. 27: 5. 1381-1394.
19.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.
20.Shahriar, A., Sadiq, R., and Tesfamariam, S. 2012. Risk analysis for oil & amp; gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. J. Loss Prevent. Proc. Indus. 25: 3. 505-523.
21.Shakeri, H., and Nazif, S. 2016. Development of an algorithm for risk-based management of wastewater reuse alternatives. J. Water Reuse. Desalination. 7: 4. p. jwrd2016168.
22.Tehrani, M.V., Bagheri, A., Monem, M.J., and Khan, S. 2012. Analysing structural and non-structural options to improve utility of irrigation areas using a system dynamics approach. Irrig. Drain. J. 61: 5. 604-621.
23.Topuz, E., and van Gestel, C.A.M. 2016. An approach for environmental risk assessment of engineered nanomaterials using Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy inference rules. Environ. Inter. J. 92: 334-347.
24.Torres, J.M., Brumbelow, K., and Guikema, S.D. 2009. Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems. Reliabil. Engin. Syst. Safe. J. 94: 8. 1259-1273.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(5), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir

Risk assessment of main transmission line in irrigation networks with application of fuzzy hierarchical method

M. Oroojloo[1], *S.M. Hashemy[2] and A. Roozbahani[3]

[1]M.Sc. Student of Water Structure, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran,
[2]Assistant Prof. of Water Structure, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran,
[3]Assistant Prof. of Water Resource Management, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran

Received: 02/23/2017; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: Making an appropriate decision and providing solutions to improve the performance of irrigation networks require being aware of abilities and weakness of its components. This study initially identifies the upcoming treats, including natural, human-caused and operational hazards against the main water conveyance system in irrigation networks then presents a systematic framework assess the risk of irrigation network. Risk assessment method is widely used in the similar system such as urban water-supply system or wastewater collection, but so far it is not used in irrigation networks. This study at the first part has developed an integrated hierarchical such a way that it's applicable for all of the irrigation districts considering different levels of operation and diversity of conveyance, regulation and delivery structures. At the second part assesses the risk of identified hazards.

Materials and Methods: By doing library research, field study and interview with experts, treating hazards of each component are identified. Likelihood, consequences of treating hazards and vulnerability of component against the hazards are determined by using questionnaires and the risk of the component is calculated. To deal with the uncertainty of expert's opinion, the calculation is based on triangular fuzzy numbers and finally, in order to make the results of the model tangible, fuzzy numbers transform to crisp numbers. To obtain the weight of the component, treating hazards, consequence criteria and vulnerability criteria method of the fuzzy analytic hierarchical process was employed and to aggregate, the result of risk assessment the method of simple order weighted was conducted.

Results: The result of risk assessment revealed that at hazards level, the five riskiest hazard are: poor maintenance in the main canal with risk of 1.758, vandalism in Nyrpic module with risk of 1.6, poor maintenance in intersection structures with risk of 1.618, untrained operators' error and inaccurate calibration in operation able gates with the risk of 1.54 and 1.4. The result of risk aggregation according to hierarchical structure showed that in conveyance system among conveyance, regulation and delivery structures, the third one is the most critical structure with the risk of 1.966. Between two source of water supply, reservoir and well, the risk was obtained 1.274 and 0.99 respectively and indicated the criticality on the reservoir in compare with well. In the systems level conveyance system with the risk of 1.937 has the most risk. The result of model sensitivity analyses indicated that the change of overlap area in fuzzy membership, used in scoring stage, changed caused 1.2% and 2.12% change in decrease and increase mode respectively and the prioritization of the component and the riskiest hazards have no changes.

Conclusion: According to the founding of this research and determined risk value, hazards prioritization revealed that pain part of risky hazards generally categorized in hazards group which is related to the operation so concentration to an operation method and risk reduction of this threatening can bost the Reliability of system performance. Considering capability of the proposed model in determining the probability of hazard occurrence, multidimensional consequence and assessing the vulnerability of component against the hazards and also rectifying shortcomings of other conventional assessment methods applying the proposed model as a decision support method during management process and making decision recommended.

Keywords: Risk assessment, Fuzzy hierarchical system, Irrigation network assessment

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