تحلیل ریسک سامانه‌های اصلی انتقال و تحویل آب کشاورزی با روش درخت خطا در کانال اصلی غربی شبکه دز

مرتضی بابایی، عباس روزبهانی[۱] *و سید مهدی هاشمی شاهدانی

کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
mrz.babaei@ut.ac.ir
استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
roozbahany@ut.ac.ir
استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
mehdi.hashemy@ut.ac.ir

چکیده

شناسایی دقیق مشکلات و خطرات سامانه‌های اصلی انتقال و تحویل آب کشاورزی و بررسی میزان اثرپذیری شکست سامانه می‌تواند در بهبود عملکرد بهره‌برداری آن‌ها موثر باشد. از این رو، تحلیل ریسک سامانه‌های مذکور برای افزایش اطمینان‌پذیری آن در مقابل خطرات پیش‌رو ضرورت می‌یابد. در شبکه‌های آبیاری، مطلوبیت عملکرد سامانه اصلی انتقال و تحویل آب در گرو تحویل آب کافی، به‌اندازه و عادلانه به تمام آبگیرهای درجه دو واقع در مسیر اصلی کانال آبیاری می‌باشد. بنابراین، پژوهش حاضر برای اولین بار به منظور ارایه ساختار منحصر به فردی برای تحلیل ریسک کفایت، عدالت و راندمان تحویل آب در این سامانه‌ها اجرا شد. به این ترتیب با استفاده از تکنیک تحلیل ریسک «درخت خطا» بحران یا رویداد نامطلوب«عدم مطلوبیت تأمین و تحویل» تعیین شد. سپس عوامل منجر به وقوع آن شامل مخاطرات طبیعی، و تهدیدهای انسانی و عملکردی شناسایی شد و در قالب رویدادهای پایه و میانی در ساختار درخت خطا جای گرفتند. پس از تعیین کانال اصلی آبیاری دز غربی به عنوان سامانه مورد مطالعه؛ طی مصاحبه از مجموعه مدیریت، پرسنل بهره‌برداری و مدیران شبکه آبیاری ناحیه شمال خوزستان پرسشنامه‌ای تکمیل گردید و مقادیر احتمال شکست رویدادهای پایه به صورت کیفی و بیانی دریافت شد. سپس درخت خطای سامانه تحلیل و احتمال شکست رویدادهای فرعی و به دنبال آن رویداد رأس مشخص گردید. طبق نتایج تحقیق احتمال شکست محاسبه شده برای رویداد رأس نزدیک به ۳۰٪ حاصل شد. به دنبال این احتمال بالای شکست، رتبه‌بندی سهم رویدادهای پایه در وقوع رویدادهای فرعی و در نتیجه رویداد رأس انجام شد. بر اساس نتایج، پنج رویداد مهمتر شامل «بروز اشکال در تأمین بودجه فرآیند نگهداری»، «عدم انعطاف‌پذیری عملیات بهره‌برداری»، «نبود نظام همگن بهره‌برداری» «فعال نبودن مراکز فرهنگی آموزشی استان»، و «بهره‌برداری نادقیق از سازه آبگیر» می‌باشند که شاخص بیرنبام برای هریک از آنها از ۰/۰۵۵ تا ۰/۰۹۷ متغیر بود. رتبه بندی رویدادهای موثر بر زیرشاخه های کفایت، عدالت و راندمان نیز به صورت مجزا و با نتایج مشابه انجام شد.

واژه‌های کلیدی: رویداد رأس،رویدادهای پایه و میانی، ریسک کفایت، ریسک عدالت، ریسک راندمان، شاخص بیرنبام .

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.پاکدشت،تهران.
* – دریافت: اسفند ۱۳۹۵ و پذیرش: تیر ۱۳۹٦

مقدمه

در حال حاضر مدت زیادی از ساخت اولین شبکه‌های آبیاری در جهان می‌گذرد و بسیاری از آنها به دلایل مختلفی تخریب شده و یا بصورت غیرفعال درآمده‌اند. برخی از این دلایل شامل مشکلات فنی و سازه‌ای، مسائل زیست محیطی، اجتماعی، مدیریت بهره‌برداری و نگهداری و عدم استفاده بهینه از منابع آب است. مجموعه این عوامل باعث ضعف عملکرد شبکه‌ها، فرسوده شدن زودهنگام تاسیسات آبی و آبیاری و کاهش عمر مفید آنها در اثر سوء مدیریت شده است (کاوه‌کار و پرورش، ۱۳۸۷)؛ اما برخلاف آگاهی از مشکلات شبکه‌ها و طرح آن‌ها در مجامع مختلف علمی، راهکارهای پیشنهادی تأثیر محدودی بر بهبود عملکرد شبکه‌ها داشته‌اند و شبکه‌ها همچنان از چرخه معیوب بهسازی و شکست متوالی رنج می‌برند. برنامه بهره‌برداری هم با انعطاف‌پذیری، اعتمادپذیری و عدالت بسیار پایینی صورت می‌گیرد (برت، ۲۰۱۱). افزون بر مشکلات مذکور محدودیت منابع مالی جهت مدیریت هزینه‌های تعمیر و نگهداری؛ نگرش تصمیم‌گیران را به این سمت سوق داده تا از رویکرد سنتی واکنش به حوادث فاصله گرفته و به سمت رویکرد جلوگیری از حادثه و یا به عبارت دیگر حفظ سیستم در شرایط مطلوب (مدیریت ریسک) حرکت کنند (بهادرا و همکاران، ۲۰۰۹). براساس این رویکرد احتمال وقوع پدیده نامطلوب (خطرپذیری) و تلاشی نظام‌مند برای تعیین و مقابله با تهدیدها و مخاطرات (شناسایی و تحلیل ریسک) مطرح خواهد شد؛ بنابراین نیل به هدف مذکور در اولین گام نیازمند شناسایی دقیق مشکلات و خطرات سامانه‌های اصلی تأمین و انتقال آب کشاورزی می‌باشد.

ماهیت قضاوت محور برخی عوامل بروز خطر (شکست) در سامانه اصلی تأمین و انتقال آب کشاورزی، نقص یا نبود اطلاعات کمی آن و از سوی دیگر قابلیت گرافیکی و قیاسی درخت خطا[1] و توانایی آن در تحلیل ریسک کیفی و کمی این روش را به ابزاری نیرومند در تشخیص نقاط ضعف سامانه‌های بدل کرده است. بررسی پیشینه تحقیق کاربرد روش درخت خطا در سامانه های آبی حاکی از آن بود که صادق و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی ریسک شکست‌های موجود در شبکه توزیع آب شهری با استفاده از آنالیز درخت خطا پرداختند. شکست‌های ممکن، کیفیت آب در شبکه توزیع آب شهری شامل نفوذ، آلودگی، شکست در تصفیه‌خانه و ... بود. در زمینه تحلیل ریسک جامع و احتمالاتی سامانه آب شرب پژوهش لیندهه و همکاران (۲۰۰۹) در گوتنبرگ قابل استناد است. رویدادهای پایه در پژوهش مذکور تحت دو شاخه اصلی شکست کمی (عدم تحویل آب به مصرف کنندگان) و شکست کیفی سامانه (عدم تطابق با استانداردهای کیفی آب شرب) در نظر گرفته شدند. سپس تحلیل ریسک در سه زیرسامانه آب خام ورودی، تصفیه‌خانه و سامانه توزیع انجام شد. جیان و همکارانش (۲۰۱۱) از روش درخت خطای فازی برای مشخص کردن پتانسیل آلودگی آب در منطقه اقتصادی خلیج بیبو[2] در چین استفاده کردند. طاهریون و همکاران (۲۰۱۵) ارزیابی قابلیت اطمینان مربوط به تصفیه‌خانه شهرک غرب را توسط روش درخت خطا بررسی کردند. همچنین در مدل درخت خطای ارائه شده توسط هادیگل (۱۳۹۵) رویکردی جامع در ارزیابی و افزایش اطمینان‌پذیری تصفیه‌خانه‌های آب ارائه شد. سپس با استفاده از نظرات و تجربیات کارشناسان، عوامل و خطراتی که موجب عدم رضایت مصرف‌کننده از آب خروجی تصفیه خانه می‌گشت، دسته‌بندی شده و ارتباط میان آنها مشخص شد. سپس تحلیل حساسیتی بین تغییر ناحیه‌های اشتراک مجموعه‌های فازی با مقدار خروجی رویداد رأس انجام شد.

با توجه به کاربرد موثر روش تحلیل ریسک درخت خطا در سامانه‌های آبی، در این تحقیق برای اولین بار اقدام به تحلیل خطرپذیری سامانه‌های اصلی انتقال و

[1] Fault Tree Analysis(FTA)

[2] Beibu Gulf

تحویل آب کشاورزی بر اساس مطلوبیت عملکرد تحویل آب شده است. حال با توجه به عدم وجود یک ساختار سامانه‌مند در تحلیل ریسک خطرات مرتبط با شبکه‌های آبیاری، به عنوان زیرساخت مهم کشاورزی فاریاب، ارایه این چارچوب علمی و نظام‌مند کمک شایانی به بهبود مدیریت کنونی بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری خواهد نمود. هدف اصلی این تحقیق، بهره‌گیری از روش درخت خطا، به‌منظور ارایه ساختار جامعی برای شناسایی و تحلیل معضلات پیش رو در تحقق عملکرد مطلوب سامانه اصل تأمین و انتقال آب کشاورزی می‌باشد. در حقیقت میزان احتمال شکست در عملکرد سامانه مورد بررسی برای اولین بار از نقطه‌نظر کفایت، عدالت و راندمان توزیع و تحویل آب بررسی می‌شود. سپس عوامل شکست سامانه اولویت بندی شده و به عنوان اولویت‌های اجرایی جهت افزایش اطمینان پذیری سامانه برای استفاده مدیران ارائه خواهند شد.

مواد و روش‌ها

ریسک و انواع روشهای تحلیل آن

ریسک را نیز می‌توان به صورت احتمال شکست یا آسیب به دلیل یک رخداد ناخوشایند و عواقب سوء ناشی از آن تعریف کرد (فارس و همکاران، ۲۰۱۰). روشهای تحلیل ریسک به سه دسته کمی، کیفی و ترکیبی تقسیم می‌شوند. تکنیک کیفی، بر مبنای فرایند تخمین تحلیلی و قضاوت مهندسان و مدیران می‌باشد و دارای ساختاری غیر احتمالاتی است. در تکنیکهای کمی، ریسک توسط روابط ریاضی تخمین زده و به کمک داده‌های ثبت‌شده در محیط سیستم مطالعه می‌شود و از نوع روشهای با ساختار احتمالاتی است. روشهای ترکیبی متشکل از دو روش قبلی می‌باشند (مارویلاس، ۲۰۱۱).

روش تحلیل درخت خطا

درخت خطا از جمله تکنیک‌های ترکیبی تحلیل ریسک و روشی جزءگرا است. به این صورت که ابتدا وضعیت نامطلوبی از سامانه (بحران یا شکست) به عنوان رویداد رأس[1] مشخص می‌شود. سپس طی یک فرآیند رو به پایین علل وقوع آن کشف می‌گردد. این روش یک شرح گرافیکی و منطقی از ترکیب شکست‌های مختلف است (لیانگ و وانگ، ۱۹۹۱).

رویدادهای دیگر درخت خطا عبارتند از:

رویدادهای پایه[2]: نقاط انتهایی درخت هستند. احتمال وقوع این رویدادها بانک اطلاعاتی درخت‌خطا را تشکیل می‌دهد.

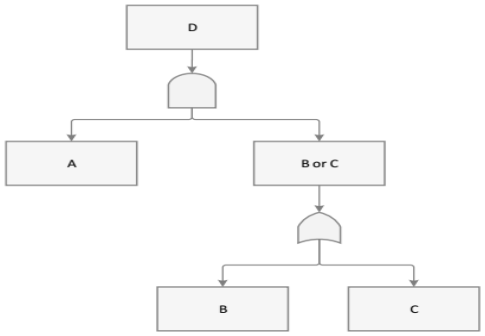
رویدادهای میانی: به رویدادهای بینابین رویداد رأس و رویداد پایه اطلاق می‌گردد.

تکنیک درخت خطا را می‌شود هم برای سیستم موجود و هم سیستمی که در حال طراحی است، بکار برد. در سیستم‌های در حال طراحی، بدلیل فقدان داده های مورد نیاز، از داده های عام استفاده می شود؛ اما در یک سیستم موجود با توجه به وجود سابقه تعمیر و نگهداری تجهیزات و دیگر اطلاعات ثبت شده، دسترسی به داده‌ها ساده‌تر است.

انواع دروازه‌ها در درخت خطا

دروازه‌ها منطق موجود در درخت خطا را مشخص میکنند و رویدادهای پایه را به رویدادهای فرعی و در نهایت به رویداد رأس مربوط میکنند. اگر لزوما شکست توامان دو رویداد شکست رویداد بالاتر را رقم بزند دروازه "AND" و اگر شکست حداقل یکی از آنها منجر به شکست رویداد بالاتر شود دروازه "OR" متصل کننده آن دو خواهد بود. در شکل ۱ شکست "D" به عنوان رویداد رأس در نظر گرفته شده است. بین دو رویداد پایه شکست "B" و شکست "C" دروازه "OR" به‌کار رفته است؛ اما بین رویداد فرعی شکست "B" یا "C" و رویداد پایه "A" دروازه "AND" دیده می‌شود.

[1] Top Event
[2] Basic event



شکل ۱- ساختار یک درخت خطای ساده

مراحل تدوین درخت خطا

به منظور تدوین درخت خطا ابتدا بخشی از یک سامانه بزرگتر مورد بررسی قرار می‌گیرد و عامل وقوع بحران یا شکست آن به عنوان رویداد رأس انتخاب می‌شود. در ادامه درخت خطا ترسیم شده و احتمال شکست رویدادهای پایه آن با استفاده از نظرات کارشناسان اخذ می شود. همچنین با تحلیل کیفی و کمی رویداد رأس احتمال شکست آن استخراج می شود. حال اگر این میزان شکست قابل پذیرش نباشد رتبه‌بندی رویدادهای پایه و به دنبال آن اقدامات اصلاحی جهت کاهش احتمال وقوع رویداد رأس مورد نیاز خواهد بود. در مجموع ردیابی مسیر منتهی به وقوع رویداد راس، اولویت دهی به رویدادهای موثر در وقوع رویداد راس و در نهایت تشخیص علل وقوع رویداد مذکور و پیشگیری از آن برخی از مهمترین مزایای درخت خطا هستند.

تعیین احتمال شکست رویدادهای پایه

برای تعیین احتمال شکست رویدادهای پایه در ساختار درخت خطا می‌توان به سوابق ثبت‌شده در مورد نرخ شکست رویداد پایه مورد نظر مراجعه نمود؛ اما به دلیل آنکه امکان دارد این اطلاعات ناقص بوده و یا اصلا وجود نداشته باشد به ناچار باید به سراغ نظرات کارشناسان و طراحان رفت. در این پژوهش قضاوت کارشناسان که به وسیله پرسشنامه اخذ می‌شود در قالب متغیرهای کیفی بیان شده، سپس به عددی صریح (احتمال شکست) تبدیل می‌شود. احتمال شکست معادل با عبارات بیانی «خیلی زیاد»، «زیاد» «متوسط»، «کم»، «خیلی کم» به ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۰۷ می‌باشد.

تحلیل کمی رویداد رأس

پس از تبدیل متغیرهای کیفی دروازه‌های "AND" و "OR" بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌گردد:

دروازه AND:

$$P=\prod_{i=1}^{n}P_i \qquad (۱)$$

دروازه OR:

$$P=1-\prod_{i=1}^{n}(1-P_i) \qquad (۲)$$

که P_i مقدار احتمال شکست رویداد i ام است.

تعیین رویدادهای پایه با سهم بالا در وقوع رویداد رأس: به این منظور از شاخص بیرنبام[1] برای رتبه‌بندی رویدادهای پایه استفاده می‌شود. شاخص مذکور توسط رابطه ۳ قابل تعریف است (پان و تای، ۱۹۸۸).

$$BI=Q_{q_i=1}-Q_{q_i=0} \qquad (۳)$$

در این رابطه $Q_{q_i=1}$ تابع فازی احتمال شکست رویداد رأس زمانی است که شکست رویداد پایه i ام به طور کامل رخ دهد و $Q_{q_i=0}$ تابع فازی احتمال شکست رویداد رأس زمانی است که شکست رویداد پایه i ام اصلا رخ ندهد و هر چقدر مقدار شاخص بزرگتر باشد سهم رویداد پایه در وقوع رویداد رأس بیشتر می‌باشد.

مطالعه موردی: شبکه آبیاری دز

با توجه به اینکه روش تحلیل ریسک درخت خطا برای اولین بار در شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، به منظور نشان دادن توانایی‌های روش مذکور شبکه آبیاری دز به عنوان یکی از بزرگترین و قدیمی‌ترین شبکه‌های آبیاری کشور جهت مطالعه انتخاب شد. بهره-برداری دستی سازه‌های تنظیم و آبگیرهای واقع در کانال

[1] Birnbaum Importance

اصلی این شبکه یکی از دلایل دیگر انتخاب می‌باشد؛ زیرا یکی از اهداف به کارگیری موضوع تحلیل ریسک در این تحقیق، ارایه خروجی به مدیران شبکه جهت انتخاب راهکارهای مناسب‌تر در بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه آبیاری بوده است.

شناسایی مخاطرات پیش‌روی کانال‌های اصلی آبیاری

در این پژوهش سعی شد مخاطرات پیش‌روی سامانه اصلی انتقال و تحویل آب به صورت کلی گردآوری شود تا در تمام شبکه‌های آبیاری قابل استفاده باشد. برخی از تحقیقات مهم استفاده شده برای این کار عبارتند از صالحی (۱۳۷۸)، بادزهر (۱۳۷۹)، خرمی (۱۳۸۲)، کریمی و همکاران (۱۳۸۷). انواع مخاطرات و تهدیدهای مؤثر بر عملکرد سامانه‌های اصلی انتقال آب کشاورزی در بخش تحویل، اعم از تهدیدهای عملکردی، طبیعی و اتفاقی علاوه بر انجام یک مطالعه کتابخانه‌ای از تحقیق‌های صورت گرفته در شبکه‌های آبیاری ضمن مصاحبه با صاحب‌نظران امر بهره‌برداری از دو نقطه نظر کفایت و راندمان تحویل آب شناسایی و در جدول ۱ ارایه شده است. شایان ذکر است رویدادها از نظر احتمالاتی به صورت مستقل فرض شده‌اند.

نتایج

شرح درخت خطای سامانه

با تکیه بر سه مفهوم عدم تحویل آب کافی در مدت مقرر (برگرفته از مفهوم کفایت تحویل آب)، آب مازاد تحویلی (براساس مفهوم راندمان تحویل آب) و نیز توزیع ناهمگون مکانی آب (مبتنی بر مفهوم عدالت توزیع و تحویل آب) به آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی، به ترتیب سه رویداد فرعی کفایت، راندمان و عدالت سامانه شناسایی شدند. سپس رویدادهای میانی و در نهایت رویدادهای پایه در ذیل آنها قرار گرفتند. لذا درخت خطای سامانه اصلی انتقال و تحویل آب در شبکه آبیاری به منظور تحلیل ریسک سامانه مذکور و مطابق شکل ۲ ارایه شده است. در شکل ۲، شماره هر رویداد پایه به صورت دایره‌ای در زیر آن و شناسه هر دروازه نیز به صورت ترکیبی از حرف و عدد (مانند "G1") دیده می‌شود. با توجه به گستردگی درخت خطای تدوین شده در این تحقیق و همچنین به منظور ارایه جزئیات کامل هر قسمت، شاخه‌های کفایت، راندمان و عدالت درخت خطای سامانه در قالب سه گام مجزا شرح داده شده است.

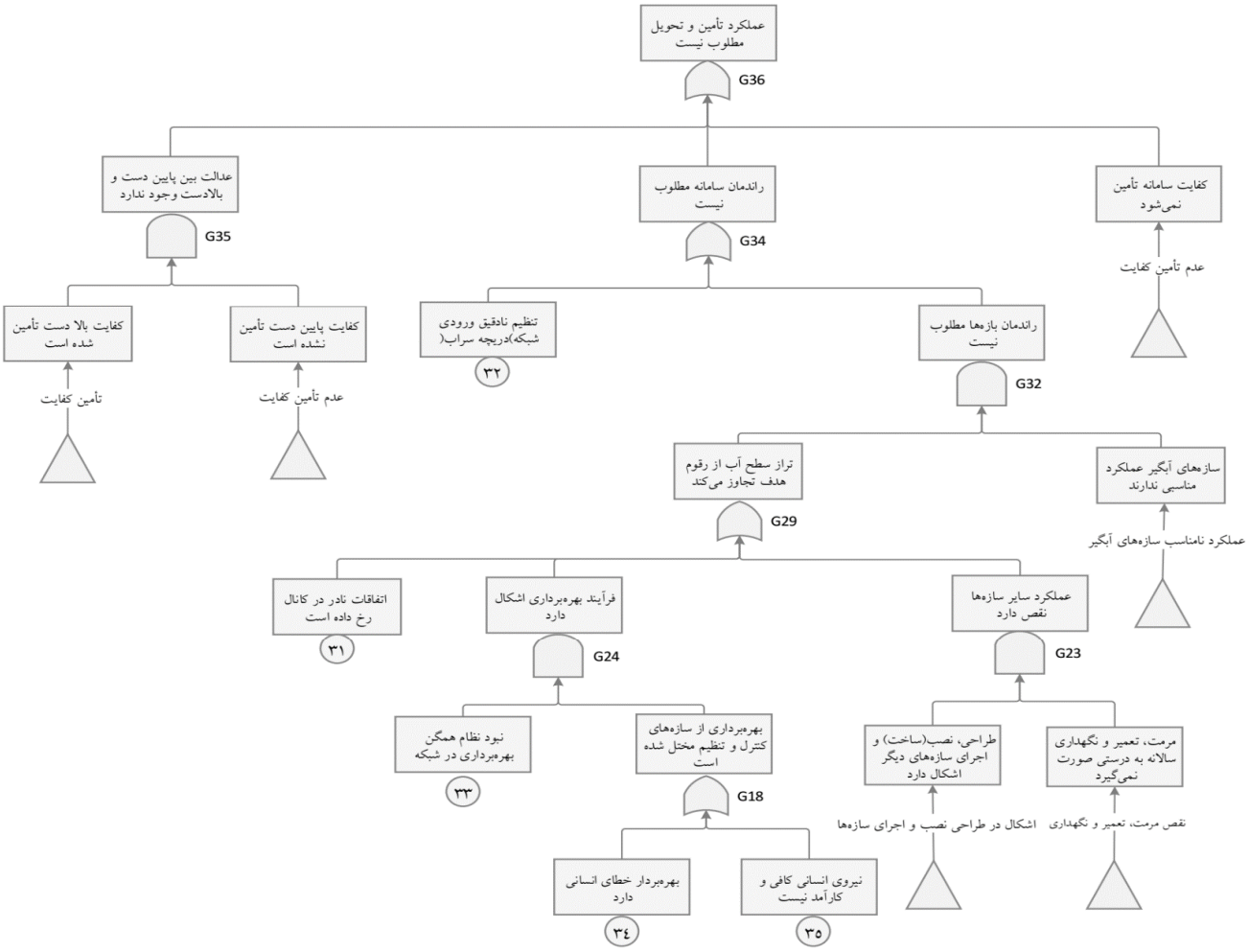
گام اول، تدوین شاخه رویداد فرعی «کفایت سامانه تأمین نمی‌شود»

مطابق با شکل ۳ در ذیل رویداد فرعی این گام دو زیر شاخه منشعب می‌شود. به عبارتی اگر کاهش دبی ورودی به سامانه قابل توجه باشد یا مشکلات سازه‌ای، بهره‌برداری و نگهداری در داخل بازه‌های کانال وجود داشته باشدکفایت سامانه تامین نمی‌شود. لذا مطابق شکل ٤، کاهش دبی ورودی به سامانه تحت تاثیر رویدادهای میانی «عدم تأمین آب در سراب کانال» و «عدم انعطاف‌پذیری در عملیات بهره‌برداری» می‌باشد. شایان ذکر است که هر کدام از رویدادهای پایه شماره ۱ تا ٤ ارایه شده در شکل ٤، تحت تاثیر رویدادهای مستقل دیگری هستند که با توجه به قلمرو مکانی تحقیق حاضر (ساختار سامانه انتقال و توزیع آب داخل شبکه آبیاری) به آن‌ها پرداخته نشده است. بر این اساس، زیر شاخه‌های مربوط به رویداد «کفایت بازه‌ها تامین نمی‌شود» با تمام جزئیات در طراحی درخت خطای این تحقیق، در شکل ۳ و نیز شکل های ۵ تا ۹ در نظر گرفته شده است.

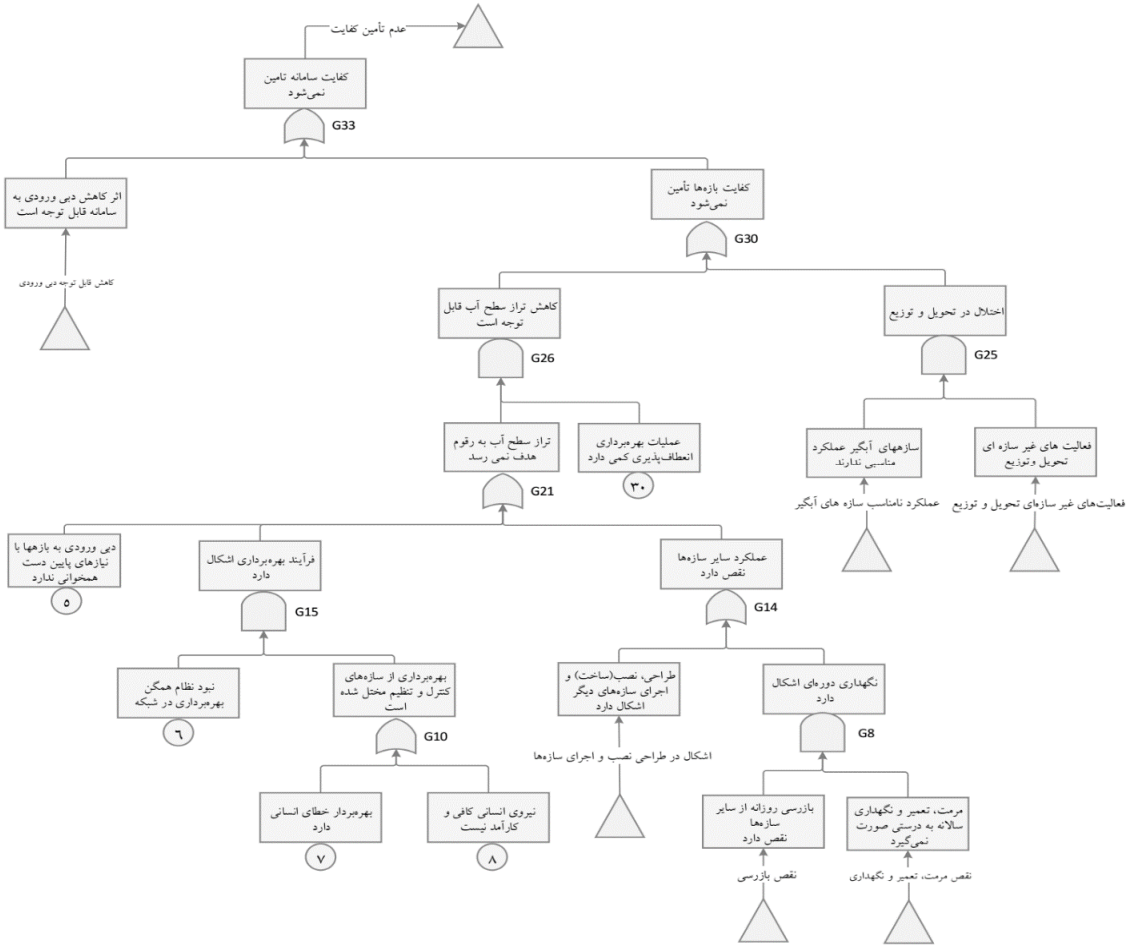
جدول ۱- رویدادهای پایه درخت خطای سامانه انتقال اصلی شبکه آبیاری

شماره	رویداد پایه	نوع	شماره	رویداد پایه	نوع
۱	تأثیر آب شرب و صنعت بر سهمیه شبکه	عملکردی	۲۴	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های انتقال	عملکردی
۲	قطعی آب ناشی از اتفاقات نادر	طبیعی	۲۵	عدم رعایت بازرسی روزانه از آبگیرها	عملکردی
۳	اثر خشکسالی بر کمیت آب	طبیعی	۲۶	بهره‌برداری نادقیق از سازه‌های آبگیر	عملکردی
۴	دبی ورودی نامتعارف	عملکردی	۲۷	اشکال در واسنجی سازه‌های آبگیر (منحنی دبی-	عملکردی
۵	عدم تناسب دبی ورودی به بازه با نیازهای پایین دست	عملکردی	۲۸	تعمیر و نگهداری نامناسب سازه‌های آبگیر	عملکردی
۶	نبود نظام همگن بهره‌برداری در شبکه	عملکردی	۲۹	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های آبگیر	عملکردی
۷	خطای انسانی بهره‌بردار	عملکردی	۳۰	عدم انعطاف‌پذیری عملیات بهره‌برداری	عملکردی
۸	نبود نیروی انسانی کافی و کارآمد جهت بهره‌برداری	عملکردی	۳۱	قطعی آب ناشی از اتفاقات نادر*	طبیعی
۹	نبود تعامل سازنده بین بهره‌بردار و نماینده آب‌بران	عملکردی	۳۲	دبی ورودی نامتعارف*	عملکردی
۱۰	افزایش تنش های اجتماعی به دلیل رقابت بر سر	اتفاقی	۳۳	نبود نظام همگن بهره‌برداری در شبکه*	عملکردی
۱۱	فعال نبودن مراکز آموزشی ترویجی استان	عملکردی	۳۴	خطای انسانی بهره‌بردار*	عملکردی
۱۲	نبود نیروی انسانی کافی و کارآمد	عملکردی	۳۵	نبود نیروی انسانی کافی و کارآمد جهت	عملکردی
۱۳	نبود تجهیزات لازم جهت نگهداری	عملکردی	۳۶	نبود نیروی انسانی کافی و کارآمد*	عملکردی
۱۴	بروز مشکل در تأمین بودجه فرآیند نگهداری	عملکردی	۳۷	نبود تجهیزات لازم جهت نگهداری *	عملکردی
۱۵	ضعف یا نبود دستورالعملی مشخص برای فرآیند نگهداری	عملکردی	۳۸	بروز مشکل در تأمین بودجه فرآیند نگهداری*	عملکردی
۱۶	برداشت غیرمجاز و آب‌دزدی	عملکردی	۳۹	ضعف یا نبود دستورالعملی مشخص برای نگهداری*	عملکردی
۱۷	بازرسی بی‌دقت و غیر اصولی (خطای انسانی)	عملکردی	۴۰	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های اندازه‌گیری*	عملکردی
۱۸	نبود برنامه‌ریزی منظم دوره‌ای برای بازرسی	عملکردی	۴۱	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های کنترل تنظیم	عملکردی
۱۹	بروز مشکل در تأمین بودجه فرآیند بازرسی	عملکردی	۴۲	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های انتقال*	عملکردی
۲۰	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های اندازه‌گیری	عملکردی	۴۳	بهره‌برداری نادقیق از سازه‌های آبگیر*	عملکردی
۲۱	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه های کنترل و تنظیم	عملکردی	۴۴	اشکال در واسنجی سازه‌های آبگیر (منحنی دبی- اشل)*	عملکردی
۲۲	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی	عملکردی	۴۵	تعمیر و نگهداری نامناسب سازه‌های آبگیر*	عملکردی
۲۳	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های حفاظتی	عملکردی	۴۶	نقص در طراحی، نصب و اجرای سازه‌های آبگیر*	عملکردی

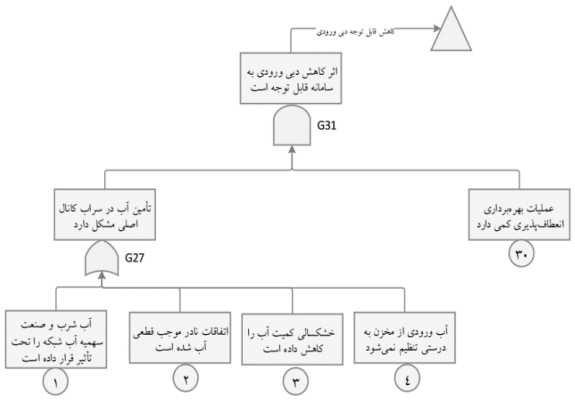
* احتمال شکست رویدادهای ستاره دار از نقطه نظر راندمان اخذ خواهد شد



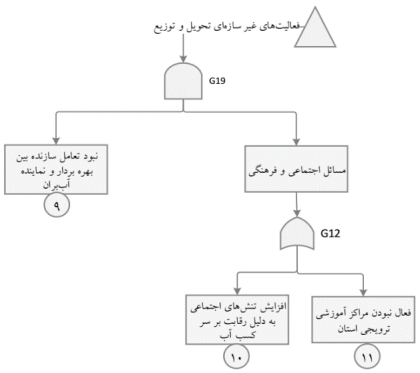
شکل۲- درخت خطای کانال اصلی شبکه آبیاری



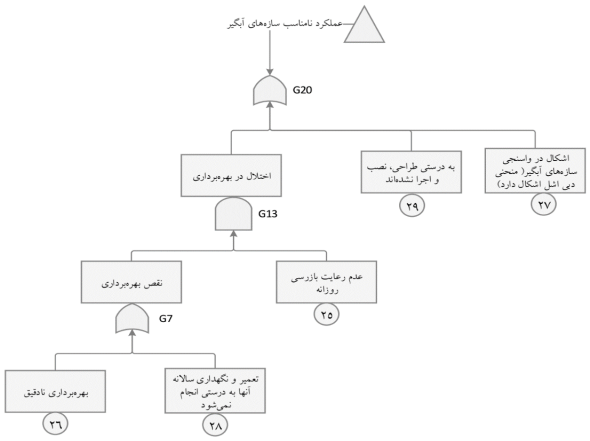
شکل۳- شاخه رویداد بالافصل «کفایت سامانه تأمین نمی‌شود»



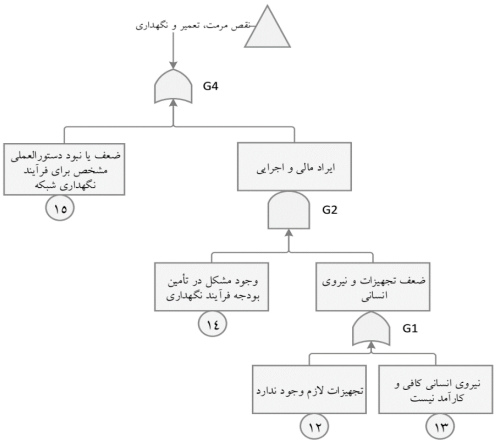
شکل۴- زیرشاخه رویداد «اثرکاهش دبی ورودی به سامانه قابل توجه است»



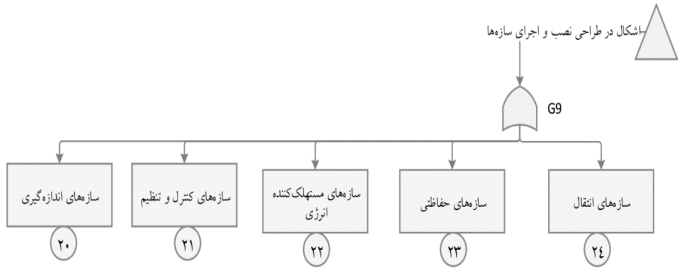
شکل۵- زیرشاخه رویداد «فعالیت‌های غیر سازه‌ای تحویل و توزیع»



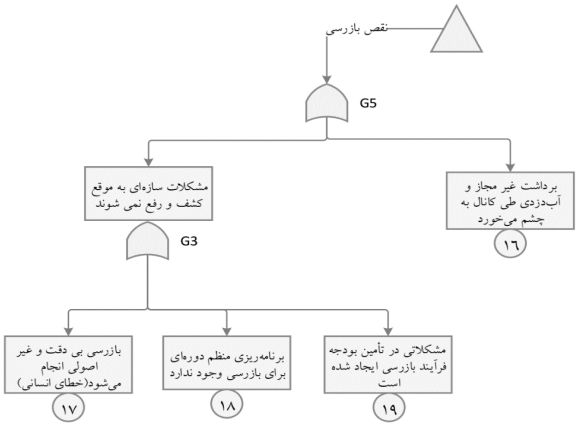
شکل۶- زیرشاخه رویداد«سازه آبگیر عملکرد مناسبی ندارد»



شکل۷- زیرشاخه رویداد «نگهداری سالانه درست انجام نمی‌شود»



شکل۸- زیرشاخه رویداد «طراحی، نصب و اجرای سازه‌های دیگر ایراد دارد»



شکل۹- زیرشاخه رویداد «بازرسی روزانه ازسازه‌ها نقص دارد»

مطابق شکل ۳، در درخت خطای طراحی شده دو رویداد میانی «کاهش تراز سطح آب قابل توجه است» و «اختلال در تحویل و توزیع آب» عوامل اصلی عدم تأمین کفایت بازه‌های کانال اصلی آبیاری در نظر گرفته شده است. دو رویداد مذکور به‌ترتیب تمامی خطرات پیش‌رو در مدیریت موثر بهره‌برداری و نگهداری سازه‌های تنظیم سطح آب و نیز سازه‌های آبگیری واقع در کانال اصلی را در خود جای داده است. موارد مرتبط با سازه-های تنظیم سطح آب در شکل ۳، ۷، ۸ و ۹ و موارد مرتبط با سامانه آبگیری کانال اصلی در شکل‌های ۵ و ٦ ارایه شده است. لازم به توضیح است که اجزای شاخه کفایت به دلیل گستردگی درخت خطا با نماد مثلثی شکل انتقال به اشکال ٤ تا ۹ منتقل شده‌اند. نام هر زیرشاخه و نحوه ارتباط آن به شکل ۵ روی فلش‌ها نمایان است

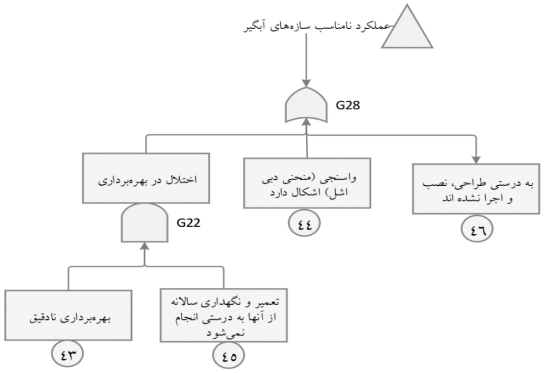
گام دوم، تدوین شاخه رویداد فرعی «عدالت بین پایین دست و بالادست وجود ندارد»

براساس تعریف عدالت توزیع آب در کانال‌های آبیاری ارایه شده توسط (مولدن و گیتس ۱۹۹۰) لازم است تا توزیع مکانی شاخص کفایت تحویل آب به آبگیرها مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس شاخه رویداد فرعی مرتبط با عدالت توزیع آب بیان می‌کند که اگر بین دبی تحویلی به بالادست و پایین دست سامانه اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد کفایت تحویل

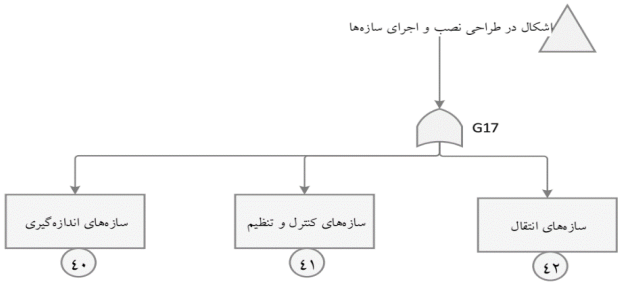
آب از توزیع مکانی مناسبی ندارد و به دنبال آن عدالت توزیع و تحویل در سامانه محقق نخواهد شد.

گام سوم، تدوین شاخه رویداد فرعی «راندمان سامانه مطلوب نیست»

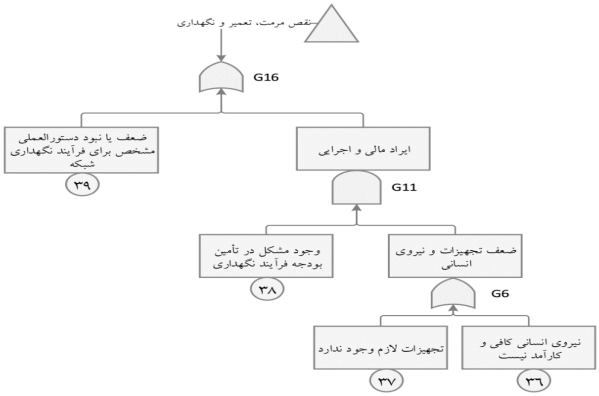
تدوین شاخه رویداد فرعی مرتبط با راندمان تحویل آب در درخت خطای این تحقیق نیز براساس تعریف راندمان تحویل آب (مولدن و گیتس ۱۹۹۰) ارایه شده است. چه در شرایط نرمال و چه هنگامی که جریان نامتعارفی به کانال وارد شود دریافت آب مازاد توسط آبگیرها امکان دارد. اجزای این زیرشاخه نیز مانند شاخه کفایت در اشکال ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده‌اند.



شکل۱۰- زیرشاخه رویداد «سازه آبگیر عملکرد مناسبی ندارد»



شکل۱۱- زیرشاخه رویداد «طراحی، نصب و اجرای سازه‌های دیگر اشکال دارد»



شکل۱۲- زیرشاخه رویداد «نگهداری سالانه به درستی صورت نمی‌گیرد»

تحلیل کمی رویداد رأس کانال اصلی شبکه آبیاری دز

پس از تعیین کانال اصلی شبکه آبیاری دز به عنوان مورد مطالعه به منظور تحلیل ریسک کمی رویداد رأس آن احتمال شکست هر رویداد پایه بر اساس نظر کارشناسان شبکه مذکور اخذ شد که میانگین نظرات در جدول ۲ مشاهده می‌شود. احتمال شکست متناظر با هر رویداد پایه به عنوان ورودی برنامه نوشته شده با نرم افزار MatLab به کار رفت. با این کار احتمال شکست رویدادهای فرعی زیرشاخه کفایت، راندمان و عدالت به ترتیب برابر با ۰/۱۱۹٦، ۰/۱۰٦۸ و ۰/۱۰۵۳ به دست آمد. در نتیجه احتمال شکست رویداد رأس «عملکرد تأمین و تحویل مطلوب نیست» برابر با ۰/۲۹٦٤ حاصل شد. به دلیل احتمال بالای این مقدار رتبه‌بندی رویدادهای پایه بر اساس سهم آنها در وقوع رویداد رأس مطرح خواهد شد.

این رتبه‌بندی جهت اولویت‌بندی اقدامات لازم جهت مدیریت ریسک استفاده خواهد شد.

جدول ۲- احتمال شکست هر رویداد پایه

رویداد پایه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
احتمال شکست	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۷۵
رویداد پایه	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
احتمال شکست	۰/۵	۰/۵	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۵	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۲۵
رویداد پایه	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶
احتمال شکست	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۷۵
رویداد پایه	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶		
احتمال شکست	۰/۵	۰/۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۵	۰/۰۷		

رتبه‌بندی رویدادهای پایه بر اساس سهم آنها در وقوع رویداد رأس

رتبه‌بندی رویدادهای پایه از نظر میزان تأثیر آنها در وقوع رویدادها بیان می‌شود. این کار بر اساس شاخص بیرنبام (BI) انجام گرفته است. در جدول ۳ مقادیر شاخص مذکور متناظر با هر رویداد پایه از چپ به راست و به صورت نزولی نشان داده شده است. پنج رویداد پررنگ به ترتیب میزان اهمیت در وقوع رویداد رأس شامل «بروز اشکال در تأمین بودجه فرآیند نگهداری»، «عدم انعطاف‌پذیری عملیات بهره‌برداری»، «نبود نظام همگن بهره‌برداری» «فعال نبودن مراکز فرهنگی آموزشی استان»، «بهره‌برداری نادقیق از سازه آبگیر» می‌باشند.

جدول ۳- رتبه‌بندی رویدادهای پایه درخت خطای سامانه بر اساس شاخص BI

رویداد	۴	۱۶	۱۵	۲۲	۱۲	۳۲	۳۴	۱۳	۱۷	۲۶	
BI	۰/۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۱۳۴	۰/۰۰۱۳۷	۰/۰۰۲۴۹	۰/۰۰۲۶۸	۰/۰۰۲۷۴	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۹	
رویداد	۳۷	۲۹	۲۴	۱۸	۴۰	۲۸	۳۶	۶	۱۹	۵	
BI	۰/۰۰۳۵۹	۰/۰۰۳۶۵	۰//۰۰۵۳۵	۰/۰۰۵۳۹	۰/۰۰۵۴۷	۰/۰۰۶۲۳	۰/۰۰۶۶۲	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۹۵۷	۰/۰۱۰۷	
رویداد	۲۵	۲	۲۱	۲۰	۴۶	۳	۸	۷	۴۵	۴۴	
BI	۰/۰۱۰۹۴	۰/۰۱۱۴۴	۰/۰۱۱۷۷	۰/۰۱۲۶۹	۰/۰۱۲۶۹	۰/۰۱۵۷۴	۰/۰۱۵۷۴	۰/۰۱۵۷۴	۰/۰۱۵۷۴	۰/۰۱۷۴۱	
رویداد	۳۵	۳۹	۱	۲۷	۴۲	۲۳	۳۱	۱۰	۳۸	۹	
BI	۰/۰۲۰۵	۰/۰۲۱۴۱	۰/۰۲۵۹	۰/۰۳۲۳۵	۰/۰۳۷۴۶	۰/۰۳۸۳۱	۰/۰۳۹۶۶	۰/۰۴۲۸۱	۰/۰۴۴۷۶	۰/۰۴۹۱۷	
رویداد	۴۱	۴۳	۳۰	۳۳	۱۱	۱۴					
BI	۰/۰۵۵۵	۰/۰۵۹۶۷	۰/۰۷۲۲۱	۰/۰۹۷۰۵	۰/۰۹۷۰۵	۰/۰۹۷۰۵					

به همین ترتیب در زیرشاخه کفایت که در جدول ٤ نشان داده شده است مهمترین رویدادها «عدم انعطاف‌پذیری عملیات بهره‌برداری» و «فعال نبودن مراکز آموزشی ترویجی استان» می‌باشند. رویدادهای زیرشاخه کفایت دامنه تغییرات کمی دارند لذا باید در صورت امکان در ارائه راهکارهای مدیریت ریسک در نظر گرفته شوند. مباحثی مانند آب دزدی و نبود دستورالعمل مشخص برای نگهداری پایین‌ترین رتبه‌ها را به خود اختصاص می‌دادند. همچنین عوامل مربوط به طراحی، نصب و اجرا اهمیت قابل ملاحظه‌ای نداشتند. این امر ناشی از تیم طراحی و اجرای قوی در ابتدای بهره‌برداری می‌باشد که به این خاطر احتمال شکست بسیار ضعیفی به آنها اختصاص داشت. شاخص مذکور برای زیرشاخه عدالت مشابه زیرشاخه کفایت می‌باشد. نمایش نزولی و از چپ به راست شاخص بیرنبام در جدول ۵ نیز نشان می‌دهد که مؤثرترین رویدادهای مربوط به راندمان براساس سهم هر یک در وقوع رویداد رأس به ترتیب «نبود نظام همگن بهره‌برداری در شبکه» و «اشکال در تأمین بودجه فرآیند نگهداری» هستند. این دو رویداد در شاخص مربوط به درخت خطای سامانه نیز اهمیت بالایی داشتند.

جدول ۴- رتبه‌بندی رویدادهای پایه زیرشاخه کفایت بر اساس شاخص BI

رویداد	۹	۴	۱۵	۸	۱۲	۲۳	۵	۷	۱۳	۲۶
BI	۰/۰۰۰۷۹	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۱۰۵	۰/۰۰۱۶۷	۰/۰۰۱۷۱	۰/۰۰۳۱۱	۰/۰۰۳۴۱	۰/۰۰۳۶۱	۰/۰۰۳۶۱	۰/۰۰۴۴۸
رویداد	۱	۱۸	۲	۲۴	۲۸	۲۰	۱۹	۱۶	۲۱	۶
BI	۰/۰۰۴۵۵	۰/۰۰۶۷۲	۰/۰۰۶۸۳	۰/۰۰۷۷۷	۰/۰۰۸۲۶	۰/۰۱۰۳۶	۰/۰۱۱۹۴	۰/۰۱۳۶۵	۰/۰۱۴۶۸	۰/۰۱۵۸۳
رویداد	۱۰	۲۲	۱۷	۲۵	۲۷	۱۴	۳	۲۹	۱۱	۳۰
BI	۰/۰۱۵۸۳	۰/۰۱۹۶۳	۰/۰۱۹۶۳	۰/۰۱۹۶۳	۰/۰۲۱۷۲	۰/۰۲۵۵۷	۰/۰۴۰۳۵	۰/۰۵۵۸۴	۰/۰۶۹۲۴	۰/۰۷۴۴۵

جدول ۵- رتبه‌بندی رویدادهای پایه زیرشاخه راندمان بر اساس شاخص BI

رویداد	۳۷	۳۲	۳۶	۴۳	۴۵	۳۴	۴۱	۳۱
BI	۰/۰۰۵۱۱	۰/۰۰۶۷۷	۰/۰۱۳۵۴	۰/۰۱۴۴۷	۰/۰۱۷۹۵	۰/۰۲۷۰۷	۰/۰۳۲۷۵	۰/۰۳۳۷۷
رویداد	۴۶	۳۹	۴۲	۴۴	۴۰	۳۵	۳۸	۳۳
BI	۰/۰۳۶۴۹	۰/۰۴۷۳۸	۰/۰۵۴۱۵	۰/۰۵۸۲۲	۰/۱۲۲۷۴	۰/۱۲۲۷۴	۰/۱۲۲۷۴	۰/۱۴۱۹۱

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار تحلیل ریسک سامانه اصلی انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری با استفاده از روش تحلیل ریسک درخت خطا انجام گرفت. برای این منظور کلیه خطرات پیش روی سامانه اصلی انتقال بر اساس تحقیق‌های صورت گرفته در شبکه‌های آبیاری و نیز مصاحبه با مدیران بهره‌برداری شناسایی شدند. سپس احتمال شکست خطرات مذکور در مورد کانال اصلی شبکه آبیاری دز طی پرسشنامه‌ای اخذ شد و در قالب رویدادهای پایه جای گرفت. نتایج حاصل از تحلیل ریسک سامانه اصلی انتقال و تحویل آب شبکه آبیاری دز نشان داد که احتمال شکست رویداد رأس سامانه مذکور تقریبا برابر با ۳۰٪ محاسبه شد. با توجه به احتمال شکست بالای بدست آمده، اقدام به رتبه‌بندی رویدادهای پایه از نظرسهم وقوع در رویداد رأس شد. پس از رتبه‌بندی رویدادهای پایه با استفاده از شاخص BI تأمل در پنج رویدادی که به ترتیب اولویت مشخص شدند بیانگر اهمیت مسئله بهره‌برداری در سامانه مورد بررسی می‌باشد. همچنین نتیجه رتبه‌بندی حاکی از آن است که در صورت بروز اشکال در تأمین بودجه فرآیند نگهداری، ضعف یا نبود تجهیزات نگهداری قابل جبران نخواهد بود. این امر موجب می‌شود تا عملکرد سامانه در تحویل آب با مشکل مواجه گردد. بر اساس نتایج حاصل شده، نبود نظام همگن بهره‌برداری در بحث راندمان به ویژه آبیاری‌های شبانه مشکل ساز خواهد شد. فعال نبودن مراکز آموزشی ترویجی استان نیز به عنوان عاملی غیرسازه‌ای تحویل و توزیع را با مشکل مواجه خواهد کرد و موجب افزایش مناقشات بین بهره‌برداران و آب بران خواهد شد. این رویداد اهمیت بالای مسائل اجتماعی در سامانه اصلی انتقال و تحویل آب کشاورزی نشان می‌دهد. ضمنا از شاخص BI برای رتبه‌بندی رویدادهای فرعی معرفی شده نیز بهره گرفته شد. در بین سه رویداد فرعی کفایت، عدالت و راندمان رویداد کفایت به دلیل احتمال شکست بالایی که دارد در شکست رویداد رأس مؤثرتر است. این امر که به خوبی در رتبه‌بندی رویدادهای درخت خطای سامانه هویداست به منظور بکارگیری نتایج این تحقیق در مدیریت ریسک توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. با توجه به اینکه خطرات مربوط به سامانه اصلی انتقال و تحویل آب کشاورزی به صورت جامع و یکپارچه در درخت خطای ارائه شده مد نظر قرار گرفته است. این مدل قابلیت استفاده در کانال اصلی سایر شبکه‌های آبیاری را دارد. در این پژوهش چون رویدادهای پایه به صورت مستقل فرض شدند از زمان اجرای مدل و پیچیدگی محاسبات تا حد زیادی کاسته شده است؛ اما ردیابی مسیر منتهی به رویداد راس و اولویت بندی رویدادهای پایه از مهمترین مزیت های این روش نسبت به روشهای مشابه می‌باشد. همچنین به عنوان پیشنهاد جهت انجام تحقیقات

آینده اگر عدم قطعیت‌های ناشی از قضاوت کارشناسان و همچنین عبارات کیفی در محاسبه احتمال شکست بر مبنای درخت خطای فازی یا شبکه بیزین مدل شود نتایج دقت بیشتری خواهند داشت.

فهرست منابع

۱. اصفهانی، ح. ۱۳۸۸، ارزیابی ریسک با روش تحلیل درخت خطا. انتشارات کالج برتر، چاپ اول، تهران، ایران

۲. بادزهر، ع. ع. ۱۳۷۹، تهیه مدل کامپیوتری ارزیابی عملکرد شبکه های آبیاری با استفاده از تلفیق روش کلاسیک و ارزیابی سریع(مطالعه موردی شبکه آبیاری قزوین)، پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳. خرمی، ج. ۱۳۸۲، ارزیابی عملکرد شبکه های آبیاری با استفاده از منطق فازی(مطالعه موردی: شبکه آبیاری مارون)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

٤. صالحی طالشی، ا. ۱۳۷۸، ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری به روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۵. کاوه‌کار، ن. و پرورش ریزی، ع.، بهمن ۱۳۸۷، دسته‌بندی مطالعات در بازسازی و بهسازی شبکه‌های آبیاری، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

٦. کریمی، م. حیدری، ن. یوسف گمرکچی، ا. ۱۳۸۷، بررسی مشکلات و موانع طرح انتقال مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه آبیاری قزوین به آب بران، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۷. هادیگل، ف. ۱۳۹۵، ارزیابی خطرپذیری تصفیه خانه های آب با استفاده از مدل تحلیل درخت خطا با لحاظ عدم قطعیت‌ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

8. Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., Singh, R. and Raghuwanshi, N.S., 2009. Integrated reservoir-based canal irrigation model. I: Description. Journal of irrigation and drainage engineering, 135(2), pp.149-157.
9. Burt, C.M., 2011. Chairman of the Board, Irrigation Training and Research Center (ITRC). G. Marks, & E. Wilcox, Interviewers) San Luis Obispo, CA.
10. Fares, H. and Zayed, T., 2010. Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 1(1), pp.53-62.
11. Assessment, F.R., 2005. A How-To Guide to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings. FEMA, 452, pp.3-6.
12. Jian, H.U., Junying, C., Jiahong, L. and Dayong, Q., 2011. Risk identification of sudden water pollution on fuzzy fault tree in beibu-gulf economic zone. Procedia Environmental Sciences, 10, pp.2413-2419.
13. Liang, G.S. and Wang, M.J.J., 1991. A fuzzy multi-criteria decision-making method for facility site selection. The International Journal of Production Research, 29(11), pp.2313-2330.
14. Lindhe, A., Rosén, L., Norberg, T. and Bergstedt, O., 2009. Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems. Water research, 43(6), pp.1641-1653.
15. Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D. and Gemeni, V., 2011. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24(5), pp.477-523.

16. Molden, D.J. and Gates, T.K., 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. Journal of irrigation and drainage engineering, 116(6), pp.804-823.
17. Pan, Z.J. and Tai, Y.C., 1988. Variance importance of system components by Monte Carlo. IEEE Transactions on Reliability, 37(4), pp.421-423.
18. Sadiq, R., Kleiner, Y. and Rajani, B., 2007. Water quality failures in distribution networks—risk analysis using fuzzy logic and evidential reasoning. Risk analysis, 27(5), pp.1381-1394.
19. Taheriyoun, M. and Moradinejad, S., 2015. Reliability analysis of a wastewater treatment plant using fault tree analysis and Monte Carlo simulation. Environmental monitoring and assessment, 187(1), p.4186.
20. Yager, R.R., 1980. On a general class of fuzzy connectives. Fuzzy sets and Systems, 4(3), pp.235-242.