

## کاربرد تکنیک آنالیز ریسک و خطاهای سیستم و اثرات مربوط به آن (FMEA) در ارزیابی ریسک موجود در پروژه های سدسازی

علیرضا دیناروند<sup>۱</sup>، بهداد هاشمیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی، گروه عمران، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

بهداد هاشمیان

### چکیده

سدها را می‌توان بدون تردید از مهمترین تأسیسات زیربنایی هر کشور به شمار آورد که از طریق ذخیره سازی و تنظیم آب، نقش مهمی را در شکوفایی اقتصادی یک کشور ایفا می‌نمایند. با توجه به حجم آب قابل ملاحظه ای که در مخازن پشت سدها ذخیره می‌شود، سدهای بزرگ به طور بالقوه می‌توانند بسیار خطر آفرین باشند. بدین جهت از جمله اقداماتی که در کنترل سدها ضروری است، انجام دادن عملیات بررسی و شناسایی ریسک های آن است. روش FMEA یکی از روشهای تجربه شده و بسیار مفید برای شناسایی، طبقه بندی، تجزیه و تحلیل خطاها و ارزیابی مخاطرات و ریسک های ناشی از آنهاست که به کمک آن می‌توان خطاها را به نحو مطلوبی ریشه یابی کرده و سپس از بروز آنها جلوگیری نمود. در این پژوهش سعی شد تا با انجام مطالعه موردی در پروژه های سدسازی کشور، به ارزیابی تحلیل ریسک در فرآیند مدیریت این پروژه ها، با رویکرد تجزیه و تحلیل FMEA پرداخته شود و بر این اساس، مجموعه نسبتاً کاملی از معیارها جهت استفاده در تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه معرفی و ریسکهای مرتبط با عملیات سدسازی مورد بررسی و ارزیابی و خوشه‌بندی قرار گیرد. نتایج بدست آمده از تحقیق نشان داده است که بیشترین ریسک های موجود از لحاظ تعداد در مخاطرات عوامل و کارکنان و خطرناک ترین ریسک در این عامل گزینه های طراحی اشتباه و تجربه ناکافی کارکنان می‌باشد و در رتبه های بعدی کیفیت بد مصالح بکار رفته و تجهیزات نامناسب کارگاه در نهایت نیز ریسک های بعدی می‌باشد. در عامل محیطی با وجود پایین بودن نمرات ریسک در همه زیرعوامل و ریسک ها گزینه های حوادث غیرمترقبه طبیعی و شرایط زیرساختی و نفوذپذیری بالا و وضعیت مواد شیمیایی محل در رتبه های اول تا چهارم ریسک های پرخطر می‌باشند. در عامل ایمنی نیز که پس از عامل عوامل و دست اندرکاران در جایگاه دوم گزینه های خطر آفرین قرار دارد و شامل عامل های پرخطر اطلاعات و ارزیابی های نادرست، ریزش مقطعی از سد، در نظر نگرفتن استاندارد مناسب برای تجهیزات، خرابی ماشین آلات می‌باشد. نتایج کلی پژوهش نشان داده است که در پروژه های سدسازی باید مدیریت سیستم کیفی از همان ابتدا مشخص و روند نظارت بر کیفیت انجام این امور نیز به نحوی درست تعیین گردد و به اجرا درآید

**واژگان کلیدی:** آنالیز ریسک، ارزیابی ریسک، خطاهای سیستم، روش FMEA

## مقدمه

سدها را می‌توان بدون تردید از مهمترین تأسیسات زیربنایی هر کشور به شمار آورد که از طریق ذخیره سازی و تنظیم آب، نقش مهمی را در شکوفایی اقتصادی یک کشور ایفا می‌نمایند. با توجه به حجم آب قابل ملاحظه ای که در مخازن پشت سدها ذخیره می‌شود، سدهای بزرگ به طور بالقوه می‌توانند بسیار خطرآفرین باشند. بدین جهت از جمله اقداماتی که در کنترل سدها ضروری است، انجام دادن عملیات بررسی و شناسایی ریسک‌های آن است. پروژه‌های سدسازی ریسک بیشتری نسبت به پروژه‌های دیگر دارند، زیرا این پروژه‌ها مستلزم مخارج زیاد و شرایط مکانی پیچیده هستند. بنابراین شناخت منابع ریسک و عدم اطمینان در پروژه‌های سدسازی و بررسی و ارزیابی این منابع، جهت تعیین مهمترین و اثرگذارترین آنها در پروژه بسیار مهم می‌باشد. مدیریت پروژه در طراحی و ساخت پروژه‌های عمرانی عبارت است از تدارک و فراهم آوردن پیش‌نیازهای لازم برای اطمینان از سازگاری پروژه با نیازهای پیش‌بینی شده که شامل تمام فعالیت‌های مدیریتی لازم برای تامین کیفی سیاست‌ها، اهداف، مسئولیت‌ها و اجرای عملی آنهاست. دستیابی به این مهم میسر نیست، مگر اینکه با برنامه‌ریزی متداوم کیفی، کنترل کیفی، ارزیابی کیفی و توسعه کیفی را در یک سیستم کیفی به صورت کاملاً دقیق بررسی و ارزیابی نماییم. ارزیابی ریسک یکی از قسمتهای کلیدی مدیریت پروژه در هر پروژه‌ای به شمار می‌رود و امکان تحلیل ریسک‌های موجود در یک پروژه را براساس میزان بحرانی بودن آنها و ارائه پاسخ مناسب فراهم می‌نماید. در روشهای کلاسیک موجود همچون روش ماتریس احتمال اثر ریسک، ارزیابی ریسک تنها براساس دو مؤلفه اصلی احتمال رخداد و میزان اثر ریسک انجام می‌شود که نتایج معتبری به دست نمی‌دهد و ممکن است تحلیل نهایی خوشه‌بندی ریسکها را با به وجود آمدن اطلاعات نادقیق همراه سازد، که این امر نیز به نوبه خود در آینده می‌تواند منجر به مشکلات عدیده گردد.

اما در این میان روشهای نوینی برای ارزیابی و خوشه‌بندی ریسک در پروژه‌ها پا به عرصه گذاشته‌اند که قادرند معایب روشهای قبلی را تا حدود زیادی مرتفع سازند و نتایج به عینه دقیقتری را ارائه نمایند؛ یکی از این روشهای تحلیل و مدیریت ریسک، روش تجزیه و تحلیل ریسک با آنالیز خطاهای سیستم و اثرات مربوط به آنها<sup>۱</sup>، یا به اختصار روش FMEA می‌باشد که در سالهای اخیر با سرعت بسیار زیادی پیشرفت کرده و به عنوان ابزاری کارآمد در فرآیند مدیریت ریسک پروژه‌های مختلف معرفی شده است. روش FMEA یکی از روشهای تجربه شده و بسیار مفید برای شناسایی، طبقه بندی، تجزیه و تحلیل خطاها و ارزیابی مخاطرات و ریسک‌های ناشی از آنهاست که به کمک آن می‌توان خطاها را به نحو مطلوبی ریشه‌یابی کرده و سپس از بروز آنها جلوگیری نمود. در حالت کلی مشاهده می‌شود که طرح‌های احداث سدها در سراسر جهان در محیطی با عدم قطعیت بالا انجام شده و همواره با درصد بالایی از ریسک همراه هستند. بعنوان نمونه در برخی از کشورها ۴۰ درصد پروژه‌های سدسازی از نظر بودجه یا زمان پیش‌بینی شده برای بهره‌برداری طرح، از مقدار تعیین شده تجاوز کرده‌اند و در بیش از ۶۰ درصد آنها نیز مدیریت ریسک سازمان ضعیف ارزیابی شده است (واگنر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). این در حالیست که به نظر می‌رسد با ارزیابی مدیریت ریسک موجود در پروژه‌های مختلف سدسازی، می‌توان به بهبود قابل ملاحظه‌ای در به حداقل رساندن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی در اهداف یک پروژه دست یافت. همچنین لازم به ذکر است که ارزیابی ریسک یکی از ارکان اصلی مدیریت ریسک در پروژه‌های سدسازی بوده و هدف آن اندازه‌گیری ریسکها براساس شاخص‌های مختلف ریسک و عدم قطعیت می‌باشد (جینتاپاکانت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴).

در این پژوهش سعی خواهد شد تا با انجام مطالعه موردی در پروژه‌های سدسازی کشور ایران به عنوان جامعه آماری، به ارزیابی تحلیل ریسک در فرآیند مدیریت پروژه‌های سدسازی، با رویکرد تجزیه و تحلیل FMEA پرداخته شود و بر این اساس، مجموعه نسبتاً کاملی از معیارها جهت استفاده در تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه معرفی و ریسکهای مرتبط با عملیات سدسازی مورد بررسی و ارزیابی و خوشه‌بندی قرار گیرد.

<sup>1</sup> Failure Mode Analysis and Effects

<sup>2</sup> Wagner

<sup>3</sup> Jintanapakanont

## ادبیات و پیشینه پژوهش

### ساخت سد و تاریخچه سدسازی در جهان

در سالهای اخیر گرایش رو به رشدی در صنعت سدسازی به وجود آمده است که این امر به خودی ساخت سدهای عظیم را در سراسر جهان گسترش داده است. سدهایی که در نقاط مختلف جهان با اهداف اصلی و جانبی متفاوت ساخته می شوند، روز به روز از گستردگی بیشتری برخوردار شده و اهمیت مطالعات مربوط به آنها در صنعت ساخت و ساز بسیار ضروری گردیده است. ساخت سدها در حالت کلی به سه مرحله (۱) طراحی اولیه، (۲) اجرا و (۳) بهره برداری تقسیم شده و لزوم مطالعات فراوان در هر یک از این مراحل از مهمترین ضروریات ساخت یک سد به شمار می رود. چراکه اگر در مرحله اول مطالعات دقیقی برای ساخت و پرداخت و اجرای یک سد صورت نگرفته باشد، در مراحل بعدی و بهره برداری، تخریب حتی یک سد کوچک می تواند فجایع بیشماری را به همراه داشته باشد.

در سرزمینهای باستانی و کهن که از قدیم در معرض سیلاب و طغیان رودخانه ها قرار داشته اند، ساخت بندهای متفاوت در طول مسیر رودخانه ها و یا مناطق سیل خیز به جلوگیری از خسارات کمک فراوانی کرده است. تاریخ سدسازی در ایران، مصر و بین النهرین قدمتی بسیار طولانی دارد و هنوز هم می توان نشانه هایی از آنها را در این سرزمینها یافت. بطور کلی سدسازی و نیز لایروبی و مرمت آنها از دیرباز مانند سایر کارهای عام المنفعه و پروژه های بزرگ معمولاً به دست حکومت ها و پادشاهانی که به امور آبادانی و آبادی علاقه بیشتری داشتند انجام می گرفته است و در این میان رونق اقتصادی و پیشرفت آبادیها و شهرهای مرتبط با سیستمهای آبیاری و آبرسانی نیز بستگی بسیار زیادی با مقوله سد و سدسازی و اهمیت حکمرانان به این مسایل داشته است.

### تقسیم بندی انواع سدها

در طراحی سدهای مختلف کاربردهای گوناگونی از جمله تأمین آب مورد نیاز آبیاری دشتهای منطقه، تأمین آب شرب، تولید نیروی برقآبی، مهار سیل و ... مدنظر می باشد که این اهداف با توجه به نیاز و نوع طراحی می تواند به صورت تنها و یا همزمان مورد توجه قرار گیرد. در این راستا می توان تقسیم بندی زیر را براساس کاربردهای مختلف سدهای مختلف مدنظر قرار داد:

سدهای مخزنی: این سدها به منظور ذخیره آب جهت تأمین مصارف شرب، کشاورزی و صنعت احداث می گردند. حجم مخزن این سدها بسیار بزرگ است. این نوع سدها شامل سدهای بتنی دو قوسی و بتنی وزنی و سدهای خاکی می شوند.

سدهای تنظیمی: هدف از ساخت این سدها تنظیم دبی ثابتی برای رودخانه می باشد. این نوع سدها در پائین دست سدهای مخزنی بزرگ احداث می گردند. ارتفاع آنها کم و میزان حجم آبی که در آنها ذخیره می شود، کم می باشد. جنس این سدها اکثراً بتنی با حاشیه های سنگریزه ای می باشد.

سدهای انحرافی: این سدها برای منحرف کردن آب مورد استفاده قرار می گیرند، این سدها در مسیر رودخانه ها احداث می گردند و با افزایش هد آب باعث سوار شدن آب بر زمینهای مجاور می گردد. همچنین از این سدها برای منحرف کردن آب قبل و بعد از محللهای ساخت سدهای بزرگ استفاده می شود.

سدهای رسوبگیر: این نوع سدها دارای ارتفاع کمی می باشد و جنس آنها بتن و سنگ می باشد. هدف از این سدها برای جلوگیری از ورود رسوبات به داخل سدهای بزرگ می باشد و قبل از این سدها احداث می شوند.

سدهای برقآبی: این نوع سدها را که می توان از نوع سدهای انحرافی نیز دانست، با تأمین هد آب مورد نیاز نیروگاههای برقآبی، جهت تأمین نیروی برق طراحی و اجرا می گردند.

از نظر نوع مصالح مصرفی می توان سدها را به سه گروه سدهای خاکی یا سنگریزه ای، سدهای لاستیکی و سدهای بتنی تقسیم بندی نمود:

سدهای خاکی مصالحشان را از همان منطقه احداث و یا نواحی نزدیک تأمین می کنند و اصولاً دارای هسته رسی می باشند. مصالح این سد اعم از ریزدانه و درشت دانه بایستی در دسترس باشد. این سدها برای زمینهایی نامناسب از نظر مقاومت مناسب ترین نوع سد می باشند. با توجه به خصوصیات مکانیک خاکی مصالح سنگریزه ای از جمله بالا بودن زاویه اصطکاک نسبت به مصالح خاکی می توان شیب شیروانیهای بالادست و یا مقاومت سدهای سنگریزه ای را کمتر از سدهای خاکی در نظر گرفت، بطوری که در سدهای خاکی این شیب ممکن است بین ۳/۵-۱:۲ باشد، در حالی که در سدهای سنگریزه ای این مقدار ممکن است حتی تا حدود ۲-۵:۱/۱ می تواند کاهش یابد. سدهای لاستیکی اغلب بر روی رودخانه های فصلی زده می شوند و از جنس لاستیک می باشند که در زمان مورد نیاز این سدها را از باد پر می کنند و این عمل باد کردن حجم سد را بالا می برد و سد مانع عبور آب می گردد. سدهای لاستیکی دارای ارتفاع کمی (حدود ۳ الی ۱۵ متر) می باشند. این سدها برای افزایش هد آب و همچنین انحراف آب مورد استفاده قرار می گیرند. از مزیت های این سد این است که در مواقع سیلابی هوای آنها تخلیه شده و این سد در بستر رودخانه قرار گرفته و رسوبات ناشی از سیلاب در پشت آن جمع نمی شود.

پس از سال ۱۹۵۰ میلادی، مخلوط کردن بتن با محصولات و مواد اضافه و زائد مثل سرباره کوره یا پودر خاکستر زغال سنگ متداول گردیده تا علاوه بر کاهش هزینه، مشکلات جانبی اجرائی مختلف نیز برطرف گردد. سدهای بتنی ممکن است به یکی از روشهای زیر ساخته شود:

سدهای بتنی وزنی: این سدها عمدتاً کوتاه هستند و ارتفاع آنها بین ۱۵ تا ۲۰ متر می باشد، این سدها به دلیل وزن زیادی که با بتن برای آن بوجود می آورند بر اثر فشار آب حرکت نمی کند و از جای خود تکان نمی خورد. در این نوع سد سرریز شدن آب مشکلی ایجاد نمی کند. این سدها در دره های عریض ساخته می شوند. این نوع سد در برابر تغییر درجه حرارت نیز هیچگونه حساسیتی ندارد.

سدهای بتنی پشت بند دار: سدهای پشت بند دار از نوع بلند هستند و باعث جلوگیری از خمشهای زیاد در بتن می شوند و برای تصور آن می توان اینگونه آن را تشبیه کرد که دیواری بلند را که دارای پی در زمین است با تیرچه هایی در پشت آن نیز محکم نگه داشته شود تا فرو نریزد.

سدهای بتنی قوسی: این سدها معمولاً در دره های باریک با شیب زیاد و از جنس سنگ اجرا می گردد و می توانند دو قوسی نیز باشند و در راستای عمودی و افقی در دره دو حالت قوس داشته باشند. حسن این سدها این است که اگر به هر علتی در بدنه آنها ترک ایجاد شود، خود نیروی فشار اعمالی از جانب آب پشت سد باعث هم آمدن این ترکها (ترکهای حرارتی) می شود.

اولین سد قوسی در جهان (سد زولا) در فرانسه در سال ۱۸۵۴ و اولین سد قوسی بلند در جهان (سد هاور) به ارتفاع ۲۲۱ متر و طول تاج ۳۷۲ متر در آمریکا در سال ۱۹۳۶ ساخته شده است. سدهای قوسی به لطف اضافه ظرفیت باربری منحصر بفرد و خصیصه ی خودتنظیمی، به وفور مورد توجه مهندسین سد در زمینه ساخت سد در سراسر جهان قرار گرفته اند. در حال حاضر بیش از نیمی از سدهای عظیم ساخته شده در سراسر جهان با ارتفاعی بیش از ۲۰۰ متر از نوع سدهای قوسی می باشند

### عوامل زمین شناسی انتخاب ساختگاه سد

سدسازی از جمله طرحهای مهندسی متمرکز به شمار می آید که در ارتباط مستقیم با زمین ساخته می شوند. مطالعات زمین شناسی مهندسی در تمامی مراحل اجرای یک طرح سدسازی مؤثر می باشند.

موفقیت یک سد در درجه اول به انتخاب صحیح ساختگاه آن بستگی دارد. بطور کلی در انتخاب محل یک سد لازم است که دو شاخص اصلی در نظر گرفته شود:

۱- تأمین پایداری بدنه و مخزن

۲- آب بندی محدوده احداث سد.

عوامل متعددی در انتخاب ساختگاه یک سد مؤثر می باشند که مهمترین آنها عبارتند از:

تأثیر شرایط توپوگرافی در انتخاب ساختگاه سد: ناهمواری های سطح زمین و مورفولوژی آن معمولاً توسط نقشه های توپوگرافی نشان داده می شوند. بهترین موقعیت برای احداث سد معمولاً جایی انتخاب می شود که یک دره تنگ به وسیله یک دره باز در سمت

بالادست دنبال شود. دره تنگ معرف استقامت بالای سنگ می باشد که در مقابل جریان آب رودخانه مقاومت بیشتری را نشان داده و دره باز محل مناسبی جهت مخزن می باشد که ظرفیت ذخیره سازی آب را بالا می برد.

تأثیر امتداد لایه ها در انتخاب ساختگاه سد: در محل هایی که لایه بندی سنگ مشخص باشد بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با امتداد لایه ها و یا دارای زاویه کمتری با امتداد لایه ها باشد.

تأثیر شیب لایه ها در انتخاب ساختگاه سد: به طور کلی بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که جهت شیب لایه ها به سمت بالادست باشد یا به عبارت دیگر جهت شیب لایه ها در جهت عکس جریان آب باشد.

تأثیر چین خوردگی در ساختگاه سد: بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با محور چین باشد و ساختمان چین خورده از نوع طاقدیس باشد. در صورتی که محور سد عمود بر محور طاقدیس و یا ناودیس باشد لازم است که جهت شیب لایه ها در محل احداث سد در نظر گرفته شود.

وضعیت حوزه آبریز: محل احداث سدها معمولاً در قسمت انتهایی یک حوزه آبریز انتخاب می شوند. بدین ترتیب حجم بیشتری از آب ذخیره و یا کنترل می شود. در جایی که رودخانه ها جریان فصلی دارند و سدهای ساخته شده اغلب از نوع مخزنی، تنظیمی و یا حفاظتی می باشند.

### نحوه ارزیابی ساخت یک سد از نظر فنی

از نظر فنی برای ساختن یک سد می بایست مراحل سپری شود تا ساختن یک سد آغاز گردد، هر کدام از این مراحل را یک فاز می نامند و این فازها در پروژه های مختلف ساخت یک سد به شرح ذیل قابل تقسیم هستند:

فاز صفر تعریف<sup>۱</sup>: آیا ساختن سد از نظر اقتصادی و مورد کاربری توجیه دارد یا خیر؟<sup>۲</sup> خروجی این فاز شامل موارد زیر می باشد:

۱- تعریف واضحی از بهبودهای برنامه ریزی شده:

۲- نقشه و طرح کلی فرآیند<sup>۳</sup>:

۳- لیستی از مواردی که برای کارفرما مهم است<sup>۴</sup>:

فاز یک: اندازه گیری<sup>۵</sup>: انواع سدهایی که با توجه به شرایط جغرافیایی و اقتصادی منطقه پیشنهاد می شود بطور ریز می بایست مورد بررسی و اندازه گیری قرار گیرد و میزان ذخیره آب و هزینه ریالی آن مورد بررسی قرار گیرد<sup>۶</sup> هدف فاز اندازه گیری این است که بتوان با جمع آوری اطلاعات در مورد شرایط فعلی بر روی فعالیتهای بهبود متمرکز شد. خروجیهای این فاز بطور کلی عبارتند از:

۱- داده های پایه ای در مورد شرایط فعلی پروژه

۲- داده هایی که دقیقاً موقعیت پروژه را مشخص می کنند.

۳- تعریف دقیق تری از پروژه.

فاز سه: تحلیل<sup>۷</sup>: هندسه و تحلیل سد و ریختن نقشه اجرای سد<sup>۸</sup>. در این فاز عوامل بالقوه شناسایی شده و در مورد اینکه چه عللی مهمتر هستند تصمیم گیری می شوند و توضیح داده می شوند. برای بررسی و تایید علل مهم چه داده هایی را باید جمع آوری نمود و داده ها را باید چگونه تفسیر کرد.

<sup>1</sup> Define

<sup>2</sup> VOC- SIPOC-PROJECT

<sup>3</sup> SIPOC

<sup>4</sup> VOC

<sup>5</sup> Measurement

<sup>6</sup> Capability-Patterns-Gage R&R-Sampling-Data

<sup>7</sup> Analyze

<sup>8</sup> Process Analysis-Multi vari-Organize causes-Hypothesis Testing-Regression-DOE

فاز چهار: بهبود<sup>۱</sup>: هدف این فاز شناسایی علل ریشه ای مشکلات پروژه و تایید این علل با استفاده از داده می باشد. خروجی این فاز یک تئوری است که آزمایش و تایید شده است. در این مرحله می توان ایده ها را ارزیابی نمود و با ارائه ماتریس اولویت بندی راه حلها، شناسایی ریسکها، اجرای آزمایشات و ... راههای مختلف ارائه می گردد.

فاز پنج: کنترل<sup>۲</sup>: هدف این فاز، کنترل، ارزیابی، برنامه و روند کلی پیشرفت پروژه و حفظ اهداف با استفاده از استانداردسازی فرآیند می می باشد. در این فاز با نظارت به روند پیشنهادی فاز قبلی نشان داده می شود که بهترین روند با توجه به استانداردها، روند پیشنهادی فاز چهار می باشد. نکات کلیدی مشخص شده و برای پروژه های بعدی روشهای عالیتر با هزینه و زمان کمتر و ضریب اطمینان بالاتر با توجه به پروژه جاری تعیین می گردد. بطور کلی خروجیهای این فاز عبارتند از:

۱- تحلیل قبل و بعد از اجرای پروژه

۲- سیستم نظارت

۳- مستندات کامل، نتایج، آموخته ها و پیشنهادات

فاز شش: ساخت و اجرای سد<sup>۳</sup>: پس از انجام مقدمات مطالعاتی بر روی سد، نوع سد براساس منطقه جغرافیایی و مصالح در دسترس سد مورد ارزیابی قرار می گیرد. یکی از نکاتی که جغرافیای منطقه در ساختن سد مشخص می کند، نوع خاک و زمین منطقه و یا دره ای است که در آن سد اجرا می شود؛ زیرا نوع بدنه سد و خاک منطقه بسیار حساس است.

### ریسک های سدسازی

بستر زمین می تواند با زونهای خطرناک زمین ساختاری نهفته در آن همواره منبعی از مشکلات غیرقابل انتظار در سدسازی باشد(صیادی، ۱۳۹۰).

براون<sup>۴</sup> و رایلی<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۴ انواع ریسکهای مرتبط با طرحهای سدسازی را این چنین برشمرده اند:

- ریسک آسیب یا نقصانهای با پتانسیلی برای مرگ و جراحت پرسنل، خطرات اقتصادی و تجهیزاتی زیاد و از دست دادن اعتبار برای افراد درگیر
  - ریسک عدم دستیابی به استانداردها و معیارهای تعیین شده در طراحی، عملیات، پشتیبانی و کیفیت
  - ریسکهای یک تأخیر مهم در اتمام پروژه و آغاز عملیات درآمدزایی آن
  - ریسکهای افزایش جدی در هزینههای پروژه و پشتیبانی آن
- در برخی از منابع دیگر ریسکها در پروژههای عظیم همچون سدسازیها را به سه دسته اصلی زیر تقسیم کرده اند:
- صدمه مادی به امور ساخت، ماشین آلات، دستگاهها و تجهیزات
  - صدمه مادی به اموال اشخاص ثالث
  - صدمه بدنی به کارکنان یا اشخاص ثالث

راهنمای مدیریت ریسک انجمن جهانی سد نیز انواع ریسک را براساس فازهای پیشرفت یک پروژه تعریف کرده و مدیریت تمامی ریسکهای پروژه را مدنظر قرار داده است. در این راهنما تأکید عمده بر روی حوزه مدیریت ریسکهاست. به این معنی که در هر مرحله کدام یک از نهادهای درگیر در پروژه (کارفرما یا پیمانکار) مسئول مدیریت ریسکها می باشند

### ارزیابی و طبقه بندی ریسک در سدسازی

امروزه برای سازههای عظیم همچون سدها با توجه به کاربرد آنها روشهای ارزیابی ریسک مختلفی بکار برده شده است. بعنوان مثال رویههای بسیار پیچیده ای برای ارزیابی ریسک سازههای زیرزمینی مربوط به فعالیتهای هسته ای استفاده شده، ولی برای پروژههای سدسازی بکارگیری روشهای ساده تر ولی مؤثرتر توصیه شده است (سازمان جهانی<sup>۶</sup>، ۲۰۰۳). در مجموع برای ارزیابی ریسک بخشهای

<sup>1</sup> Improve: Solutions-FMEA-Pilot-Implementation

<sup>2</sup> Control: Standardize-Document-Monitor-Evaluate

<sup>3</sup> Construction

<sup>4</sup> Brown

<sup>5</sup> Reilly

<sup>6</sup> International society

مختلف یک طرح سدسازی و یا ارزیابی انواع ریسک تعریف شده در سیاستهای کارفرما و یا پیمانکار می‌بایست نسبت به تهیه ماتریسهای ریسک اقدام نمود. برای این کار با توجه به ملاکهای پذیرش ریسک کارفرما یا پیمانکار برای هر یک از عوامل ریسک (تواتر و شدت) طبقه‌بندی مناسبی تعریف شده و درجه هر عامل از آن استخراج می‌شود، سپس سطح هر ریسک با توجه به درجات تعیین شده برای عوامل آن (تواتر و شدت) با استفاده از ماتریس ریسک تعریف شده، مشخص می‌شود. بطور کلی تقسیم عواقب به ۵ طبقه با پنج فاصله توصیه می‌شود. علت اصلی این کار نیز همانطور که ذکر شد، هماهنگی با شرایط طبقه‌بندی تواتر و نتیجه‌گیری سطح ریسک از طریق ماتریس ریسک است. انتخاب نوع نتایج و خسارات بالقوه بستگی به شکل و ماهیت پروژه دارد.

برای هر ریسک می‌بایست پس از تعیین جایگاه تواتر و شدت نسبت به ارزیابی سطح آن اقدام نمود. برای اجرای این منظور در سیستم ارائه شده می‌بایست از یک ماتریس ریسک استفاده نمود. این ماتریس در نهایت یک برآورد کمی از توصیفات کیفی و یا کمی مربوط به پارامترهای ریسک ارائه می‌کند. مثالی از ماتریس ریسک برای تعیین سطح ریسک در جدول زیر نشان داده شده است. البته قابل اشاره است که برای هر پروژه می‌بایست این ماتریس بازنگری و یا مجدداً تعریف شود. همانطور که طبق این جدول مشخص است احتمال وقوع و درجه ریسک در یک ماتریس با درجه‌بندیهای مختلف شامل غیرمجاز (غیرقابل قبول)، نامطلوب (قابل انکار)، مجاز (قابل قبول) و جزئی تقسیم‌بندی شده است.

ارزیابی ریسک یکی از قسمتهای کلیدی مدیریت پروژه در هر پروژه‌ای به شمار می‌رود. در روشهای کلاسیک موجود همچون روش ماتریس احتمال-اثر ریسک، ارزیابی ریسک تنها براساس دو مؤلفه اصلی احتمال رخداد و میزان اثر ریسک انجام می‌شود که ممکن است نتایج معتبری بدست ندهد. به همین منظور می‌توان با بررسی عوامل مختلف در وقوع و احتمال خطر در یک پروژه سدسازی، راهکارهایی را جهت برآورد ریسک در این پروژه‌ها مورد ارزیابی قرار داد. پس از شناسایی ریسک‌ها در این پروژه‌ها براساس احتمال رخدادشان، می‌توان براساس متدهای مختلف ارزیابی ریسک اقدام به کاهش و یا قابل قبول ساختن آنها در پروژه‌های سدسازی نمود. از جمله این متدها می‌توان به متد FMEA، MADM، و FTA اشاره نمود. بر این اساس می‌توان پس از بررسی پیش‌نیازها، نقاط ضعف و قوت به ارزیابی و آنالیز ریسک‌های موجود برای رسیدن به سدی امن پرداخت.

روش FMEA یکی از روشهای تجربه شده و بسیار مفید برای شناسایی، طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل خطاها و ارزیابی مخاطرات و ریسک‌های ناشی از آنهاست. به کمک این روش می‌توان خطاها را بنویسید، ریشه‌یابی کرده و سپس از بروز آنها جلوگیری نمود.

### معرفی روش FMEA

تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن FMEA نامیده می‌شود. این روش یک ابزار نظام‌یافته برپایه کار تیمی است که در تعریف شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات خطاهای بالقوه در یک سیستم، فرآیند، طرح یا خدمت و پیش از آنکه محصول یا خدمت نهایی بدست مشتری برسد، بکار گرفته می‌شود. به بیان دیگر روش FMEA یک روش تحلیلی در ارزیابی ریسک است که می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و امتیازدهی نماید (براور<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). روشی سیستماتیک برای شناسایی و پیشگیری از وقوع مشکل در محصول و فرآیند آن می‌باشد. این روش بر جلوگیری از بروز عیب و نقص؛ افزایش ایمنی و افزایش رضایت مشتری تمرکز دارد. روش صحیح آن است که FMEA در مراحل مختلف طراحی محصول و یا توسعه فرآیند اجرا شود. از سوی دیگر، اجرای این روش در محصولات و فرآیندها فواید قابل توجهی به همراه خواهد داشت

اصول اولیه در روش FMEA به شرح زیر است :

- اصل یک: لازم نیست تمامی خطاها را در نظر بگیرید.
- اصل دو: خطا را به صورت فعل منفی یک عملکرد بنویسید.
- اصل سه: هر یک از ستونهای فرم FMEA را به طور جداگانه (ستونی) تکمیل نمایید.

تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن (FMEA)، روشی است که سه هدف زیر را دنبال می کند :

- (۱) جلوگیری از رخداد خطا
  - (۲) کمک در ایجاد و توسعه یک محصول، فرآیند و یا خدمتی جدید
  - (۳) ثبت پارامترها و شاخصها در طراحی و توسعه، فرآیند یا خدمت.
- حوزه و وسعت عملکرد روش FMEA باید کاملاً روشن و معین باشد. این امر معمولاً توسط سرپرست گروه که مسئول FMEA نیز می باشد، تعیین می شود. اگر تمرکز FMEA بر طراحی محصول باشد، سرپرست طراح می بایستی حوزه پروژه را مشخص کند؛ اما اگر FMEA مخصوص فرآیند باشد، سرپرست اجرایی، حوزه عملکرد را مشخص می کند.
- FMEA به شرطی که بصورت یک کار تیمی انجام شود، بهترین و بیشترین اثربخشی را به همراه دارد. با این وجود FMEA می تواند به صورت انفرادی نیز انجام شود. در حالت کار تیمی احتمال شناسایی خطاهای بالقوه افزایش می یابد. هر چند که هزینه پیاده سازی FMEA به صورت انفرادی بسیار پایین تر است.

از زمانیکه FMEA در دهه ۶۰ توسعه یافته، تاکنون ۴ نوع کلی از آن پدید آمده است که عبارتند از (سانکر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱):

(۱) FMEA در طراحی (DFMEA)<sup>۲</sup>

(۲) FMEA در فرآیند (PFMEA)<sup>۳</sup>

(۳) FMEA در سیستم (SyFMEA)<sup>۴</sup>

(۴) FMEA در خدمات (SFMEA)<sup>۵</sup>

#### بکارگیری روش FMEA جهت مدیریت ریسک در سد سازی

هر عملیاتی ریسک های مربوط به خود را دارد و برای شناسایی ریسک ها به منظور تصمیم گیری های آتی که منجر به کاهش نهایی ریسک برای به حداقل رساندن سطح قابل قبول ریسک در رابطه با هزینه پروژه، زمان بندی و محدودیت های عملیاتی، به مکانیزمی نیاز خواهد بود. در نتیجه باید از روش شناسایی ریسکی استفاده شود که نگاه کلی به سیستم دارد. روش آنالیز شکست و اثرات آن (FMEA) روشی است که اگر با قدرت و دقت زیاد اجرا شود، وضوح مورد نیاز را تأمین خواهد نمود. این روش احتمال وقوع خطایی را در سیستم یا اعضاء طبق یک مکانیزم شکست بررسی می کند. سپس اثرات ناشی از این شکست را ارزیابی کرده و در نهایت می تواند رتبه بندی ریسک را به صورت گسترده و جزئی تری دسته بندی کند. طبق راهنمای ارزیابی ریسک روش FMEA روشی است که برای تشخیص اثرات در مرحله طراحی جزئی مورد استفاده قرار می گیرد و بر روی مواردی همچون قابلیت اطمینان سیستم های فنی سد مثل سیستم کنترل بهره وری، حجم مخزن، ظرفیت دالان و سیلاب و ... متمرکز می شود. مراحل شش گانه الگوریتم مدیریت ریسک در سد سازی به شرح زیر می باشد :

قدم اول: تعریف پروژه سد سازی : قدم اول در الگوریتم ارزیابی ریسک در تونلسازی، یکپارچه کردن فعالیتهای تونلسازی برای شروع از سطح استراتژیک است. به گونه ای که پروژه بطور مناسب برای اجرای فرآیند مدیریت ریسک تعریف شود و بتواند موارد زیر را مدنظر قرار دهد:

۱- ادغام اطلاعات مرتبط و موجود با پروژه و مدیریت آن به گونه ای مناسب

۲- شرح دادن جزئیات مربوط به پروژه و برطرف کردن تضادها

قدم دوم: تجزیه و تحلیل ریسک : شناخت ریسک مرحله ای از انجام پروژه است که در واقع به منظور شناسایی در معرض بودن یک پروژه در برابر عدم قطعیت انجام می گیرد. این عمل یعنی شناخت دقیق ریسک در پروژه، نیازمند دانش گسترده ای از اهداف پروژه، گروه های دخیل و بهره بردارن پروژه، قوانین و الگوهای اجتماعی، سیاسی و فرهنگی موجود و همچنین تهدیدها و فرصتهایی است که برای دستیابی به اهداف پروژه موثر می باشند.

<sup>1</sup> Sankar

<sup>2</sup> Design FMEA

<sup>3</sup> Process FMEA

<sup>4</sup> System FMEA

<sup>5</sup> Service FMEA



قدم سوم: تخمین و سنجش ریسک  
 قدم چهارم: پاسخ و واکنش به ریسک  
 قدم پنجم: مدیریت ریسک  
 قدم ششم: بازنگری و پایش مدیریت ریسک

### معرفی سد مورد مطالعه

در این تحقیق به عنوان مطالعه موردی بررسی روند اجرای باغکل خوانسار بعنوان یکی از سد های خاکی اجرا شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور در این بخش به معرفی سد باغکل خوانسار پرداخته شده است و مفاهیم مربوط به قسمتهای مختلف طراحی و اجرای اجزای این سد مورد بررسی، سپس ریسک ها و خطرات پیش آمده در اجرای این سد مورد مطالعه قرار گرفته است.

اجرای بدنه سد باغکل خوانسار : با توجه به گسترش سریع شهر خوانسار طی دو دهه گذشته و افزایش جمعیت این شهر، مسئولان را بر آن داشت به منظور تامین نیاز آبی شهر در آینده منابع آبی جدیدی را جستجو کنند که از نقطه نظر کنترل جریان آب رودخانه و استفاده در جهت نیاز آب شهری ، سد مخزنی خوانسار نقش مهمی خواهد داشت. مطالعات مرحله دوم این طرح در بهمن ماه ۱۳۸۰ توسط شرکت مهندسین مشاور تماوان آغاز گردید. مساحت حوضه آبریز رودخانه خوانسار که سد بر روی آن احداث گردیده ۵۰/۵ کیلومترمربع می باشد و از کوههای خوانسار و چشمه دراز در ۳۵ کیلومتری جنوب خاوری گلپایگان و ۱۰ کیلومتری جنوب خاوری کوه خوانسار سرچشمه می گیرد. متوسط دبی سالانه رودخانه  $0.184 \text{ m}^3/\text{S}$  ، متوسط آورد سالانه رودخانه ۵,۸ و چشمه ها ۹,۷۴ میلیون متر مکعب برآورد گردید. موقعیت جغرافیایی محل سد استان اصفهان - دو کیلومتری جنوب خوانسار بر روی رودخانه باغکل . موقعیت جغرافیایی آن ۳۷° و ۱۲' و ۳۳° عرض شمالی و ۱۲' و ۲۰' و ۵۰° طول شرقی و متوسط سالانه روزهای یخبندان در ساختگاه سد ۱۱۵ روز می باشد . هدف از احداث سد استفاده بهینه از پتانسیل آب رودخانه به منظور تامین آب شرب شهر خوانسار به میزان ۲/۹ میلیون مترمکعب ، توام با مهار سیلاب های حوضه آن و همچنین تامین آب قسمتی از نیاز های اراضی کشاورزی پایین دست سد به میزان ۱/۷ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است.

خلاصه اطلاعات فنی سد مخزنی باغکل خوانسار را میتوان به شرح ذیل آورد:

- نوع سد : خاکی با هسته رسی
- تراز تاج سد : ۲۳۴۵,۵ متر از سطح دریا
- تراز بستر رودخانه : ۲۳۱۰ متر از سطح دریا
- تراز عادی بهره برداری : ۲۳۴۱,۵ متر از سطح دریا
- حجم مخزن در تراز عادی بهره برداری : ۶ میلیون متر مکعب
- تراز حداقل بهره برداری : ۲۳۳۱ متر از سطح دریا
- تراز حداکثر سطح آب : ۲۳۴۳ متر از سطح دریا
- ارتفاع سد از کف رودخانه : ۳۵,۵ متر
- ارتفاع سد از روی پی : ۳۸ متر
- عرض تاج سد : ۱۰ متر
- طول تاج سد : ۷۷۰ متر
- متوسط عرض کف کالورت انحراف : ۱,۵ متر با دبی ۵۱ مترمکعب بر ثانیه
- طول کالورت انحراف : ۱۸۵ متر
- شکل مقطع کالورت : مستطیلی
- تراز ورودی کالورت : ۲۳۱۵ متر از سطح دریا
- تراز خروجی کالورت : ۲۳۰۸ متر از سطح دریا
- نوع فرازبند : خاکی
- رقوم تاج فرازبند : ۲۳۲۰ متر از سطح دریا
- نوع سرریز : سرریز آزادجانبی و در جناح راست با دبی ۱۹۶ مترمکعب در ثانیه

در ساخت سد مخزنی باغکل جهت بهسازی پی هیچ گونه برنامه ای از جمله برداشتن کامل پی آبرفتی، احداث دیوار آبنند یا پرده آبنند پیش بینی نشده است. از این رو بدنه سد روی پی آبرفتی احداث گردیده است که موجب پدید آمدن مشکلات زیادی در زمینه فرار آب از زیر بدنه شده است. با توجه به حجم عظیم فرار آب از زیر پی سد که مغایر با اهداف پروژه می باشد، لازم بود جهت بهسازی پی و کاهش نشست آب از زیر پی سد تدابیر ویژه ای اندیشیده شود. پس از آنگیزی سد و مواجه شدن با نشست زیاد آب از زیر پی سد، جهت آبنندی پی آبرفتی راه کارهایی از جمله احداث دیوار آبنند از روی بدنه سد با هیدروفرز، تزریق به روش جت گروتینگ و تزریق به روش مانشت تیوب ارائه گردید. اما با توجه به اینکه ساخت سد به اتمام رسیده است و مخزن سد نیز آنگیزی شده است احداث دیوار آبنند علاوه بر هزینه های زیادی که در پی داشت از لحاظ بحث پایداری بدنه سد هم گزینه مناسبی نبوده و مورد قبول واقع نگردید. روش جت گروتینگ نیز به دلیل ایجاد آشفته گی در پی و بدنه سد و نیز هزینه زیاد آن نسبت به سایر روش های مورد مطالعه مورد تأیید واقع نگردید. از این رو با توجه به شرایط موجود در منطقه بهترین گزینه تزریق در آبرفت به روش مانشت تیوب می باشد که بهترین گزینه اثبات شده در سایر پروژه های مشابه در این زمینه است. در این روش با ایجاد یک شبکه تزریق در زیر بدنه سد در قسمت پی آبرفتی می توان به طور کامل تمامی منافذ و خلل و فرج را با سیمان و یا مواد شیمیایی تزریق نمود. به طور ساده تر می توان گفت در یک گمانه هر مقطع را می توان با یکی از ترکیبات سیمانی و یا شیمیایی به طور مجزا تزریق نمود بدون اینکه مزاحمتی برای مقطع بعدی ایجاد گردد. مزیت این روش نسبت به سایر روش ها در این است که در آینده در صورت وجود نشست در قسمتی از پی توسط مانیتورینگ گمانه های پیرومتر در هر زمان و در هر عمقی که لوله مانشت وجود دارد می توان آن مقطع را مجدداً تزریق نمود.

## روش پژوهش

در مطالعه حاضر، برای شناسایی شکست ها، ارزیابی و اولویت بندی آنها، همانگونه که قبلاً بیان شد از روش FMEA استفاده گردیده است. برای اعمال FMEA، اطلاعات مورد نیاز جمع آوری گردید. سپس هدف، گستره و عمق مطالعه، هزینه های مربوطه، متخصصین، تجربیات قبلی و غیره جمع آوری گردیدند. ماتریس ریسک با استفاده از پارامترهای شدت پیامد، احتمال وقوع شکست و تشخیص هر شکست تعیین شد. با تشکیل ماتریس ریسک، عدد اولویت ریسک بدست آمد. در این مطالعه پارامتر شدت پیامد بر اساس توصیه استانداردهای QS9000 و SAEJ 1739 رتبه بندی گردید. در مطالعه حاضر، طبق توصیه های استاندارد کیفیت QS9000 این اطلاعات از منبع موجود در کارگاه از جمله حوادث قبلی، دوره های تعمیر و نگهداری، تجربه کاربران و ... جمع آوری شد. برای رتبه بندی احتمال وقوع از فاصله زمانی بین حوادث استفاده شد. تشخیص وقوع شکست ها با استفاده از عددی که از میزان تشخیص خرابی و سطح کنترل در دسترس در هر سیستم یا زیر سیستم بدست می آید، رتبه بندی می گردد که این عدد همان عدد RPN بوده و در بخشهای قبلی بطور دقیق مورد بررسی قرار گرفت و از حاصل ضرب عددهای شدت پیامد، احتمال وقوع و تشخیص با احتمال کشف شکست محاسبه می شود.

با استفاده از متغیرهای احتمال وقوع و شدت پیامد، ماتریس ریسک تهیه می شود. رتبه بندی براساس عدد اولویت ریسک محاسبه شده برای هر شکست انجام گرفت. برای تصمیم گیری درخصوص مداخله به منظور اصلاح یا پیشگیری از وقوع شکست، معیارهای متفاوتی منظور می گردد. بررسی ویژگی های شکست از جمله شرایط بحرانی، احتمال کنترل شکست، ایمنی یا شدت پیامد، یک عدد اولویت ریسک را می توان به عنوان معیار تصمیم گیری برای اصلاح یا پیشگیری از وقوع خرابی در نظر گرفت.

بدین منظور با انتخاب عوامل مهم در بروز ریسک ها و سپس شناسایی زیرعوامل برای هر کدام از عامل های اصلی، جداول شاخص های FMEA طراحی و در اختیار متخصصین بخش سدسازی قرار گرفته شد. سپس پاسخ های داده شده به شاخص ها میانگین گیری شده و به نزدیک عدد صحیح گرد شد و در نهایت عدد RPN محاسبه گردید. عامل های اصلی سه گانه عبارتند از ایمنی، عاملین و دست اندرکاران و عوامل محیطی.

## تجزیه و تحلیل خطا و اثرات آن در پروژه سدسازی

جهت شناسایی خطرات و خطاهای ممکن در راستای اجرای پروژه سدسازی، پرسشنامه‌هایی تهیه گردید و در اختیار ذینفعان پروژه مذکور شامل مشاوران، کارفرما و پیمانکاران قرار گرفت.

با انتخاب عوامل مهم در بروز ریسک‌ها و سپس شناسایی زیرعوامل برای هر کدام از عامل‌های اصلی، جداول شاخص‌های FMEA طراحی و در اختیار متخصصین بخش سدسازی قرار گرفته شد. سپس پاسخ‌های داده شده به شاخص‌ها میانگین‌گیری شده و به نزدیک عدد صحیح گرد شد و در نهایت عدد RPN محاسبه گردید. عامل‌های اصلی سه‌گانه عبارتند از ایمنی، عاملین و دست‌اندرکاران و عوامل محیطی. در جداول زیر تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات آن در ریسک‌های موجود در پروژه سدسازی ارائه شده است.

جدول ۱: تفکیک محدوده امتیازی RPN محاسبه شده توسط روش FMEA در خطرات ایمنی قبل و بعد از کنترل ریسک پروژه سدسازی

ریسک مشخص شده	شدت ریسک		رخداد ریسک		احتمال کشف ریسک		مقدار RPN		نمره ریسک (شدت در احتمال قبل از کنترل)
	قبل از کنترل	بعد از کنترل	قبل از کنترل	بعد از کنترل	قبل از کنترل	بعد از کنترل	قبل از کنترل	بعد از کنترل	
ریزش مقطعی از سد	۸	۴	۵	۳	۵	۲	۲۰۰	۲۴	۴۰
وجود گسل‌های خطرناک	۵	۴	۵	۲	۴	۱	۱۰۰	۸	۲۰
اطلاعات و ارزیابی‌های نادرست	۷	۳	۶	۳	۶	۳	۲۵۲	۲۷	۴۲
عدم آمادگی برای وقایع احتمالی	۶	۲	۵	۱	۴	۱	۱۲۰	۵	۲۴
اجرای پروژه‌های دیگر در نزدیکی	۴	۳	۳	۱	۳	۲	۳۶	۶	۱۲
در نظر نگرفتن استاندارد مناسب برای تجهیزات و عملیات آتش‌نشانی	۶	۲	۶	۳	۵	۲	۱۸۰	۱۲	۳۰
خرابی ماشین‌آلات	۶	۲	۵	۲	۶	۲	۱۸۰	۸	۳۶
آسیب تاسیسات	۵	۳	۵	۳	۴	۲	۱۰۰	۱۸	۱۵

جدول (۲) میزان شاخص‌های روش FMEA را قبل و بعد از کنترل از نظر متخصصین را نشان می‌دهد. با توجه به ارزیابی‌های مشاهده می‌شود که در این عامل و زیرعوامل مربوط به آن عدد RPN در تعدادی از معیارها عدد بالایی بدست آمده و نیازمند کنترل می‌باشد که کنترل‌های مورد نظر صورت گرفته و تا حد زیادی از خطرات کاهش داده است.

جدول ۲: تفکیک محدوده امتیازی RPN محاسبه شده توسط روش FMEA در خطرات محیطی قبل و بعد از کنترل ریسک پروژه سدسازی

ریسک مشخص شده	شدت ریسک	رخداد ریسک		احتمال کشف ریسک		مقدار RPN	نمره ریسک (شدت در احتمال قبل از کنترل)
		قبل از	بعد از	قبل از	بعد از		
		کنترل	کنترل	کنترل	کنترل		
۱ شرایط آب و هوایی در زمان حفاری تونل	۴	۴	۳	۲	۳	۱۶	۱۲
۲ نادیده گرفتن تغییر شرایط ناگهانی	۴	۲	۳	۲	۴	۴۸	۱۶
۳ دوری محل عملیات	۳	۲	۳	۱	۴	۳۶	۱۲
۴ جغرافی محل	۴	۳	۴	۲	۳	۴۸	۱۲
۵ نفوذپذیری بالای محل	۵	۳	۴	۲	۴	۸۰	۲۰
۶ وضعیت مواد شیمیایی محل	۴	۳	۵	۲	۳	۶۰	۱۲
۷ آلودگی محل	۳	۲	۳	۱	۲	۱۸	۶
۸ اجرای پروژه های دیگر در نزدیکی	۵	۳	۳	۲	۳	۴۵	۱۵
۹ حوادث غیرمترقبه طبیعی	۶	۳	۵	۳	۴	۱۲۰	۲۴
۱۰ شرایط زیر ساختی زمین شناسی	۵	۴	۴	۳	۴	۸۰	۲۰
۱۱ مشکلات با اهالی منطقه بر سر ساخت سد	۵	۳	۴	۲	۴	۸۰	۲۰

جدول (۳) میزان شاخص های عامل محیطی در سدسازی با روش FMEA را قبل و بعد از کنترل از نظر متخصصین را نشان می دهد. اعداد یک تا ۱۱ محور افقی زیرعوامل را نشان می دهد.

جدول ۳: تفکیک محدوده امتیازی RPN محاسبه شده توسط روش FMEA در خطرات عوامل و دست اندرکاران قبل و بعد از کنترل ریسک پروژه سدسازی

نمره ریسک (شدت در احتمال قبل از کنترل)	مقدار RPN		احتمال کشف ریسک		رخداد ریسک		شدت ریسک		ریسک مشخص شده
	قبل از کنترل	بعد از کنترل	قبل از کنترل	بعد از کنترل	قبل از کنترل	بعد از کنترل	قبل از کنترل	بعد از کنترل	
	۲۸	۲۴	۱۴۰	۲	۴	۳	۵	۴	
۲۴	۱۸	۱۴۴	۲	۴	۳	۶	۳	۶	۲ سهل انگاری پیمانکار
۳۰	۱۲	۱۲۰	۲	۶	۲	۴	۳	۵	۳ سهل انگاری در نظارت
۳۵	۲۴	۱۷۵	۳	۵	۲	۵	۴	۷	۴ کیفیت بد مصالح بکار رفته
۴۰	۱۲	۲۰۰	۲	۵	۲	۵	۳	۸	۵ طراحی نامناسب
۲۴	۱۸	۱۲۰	۲	۴	۳	۵	۳	۶	۶ مکان یابی نامناسب
۳۵	۲۴	۲۱۰	۲	۵	۳	۶	۴	۷	۷ کندی روند
۳۶	۳۶	۱۸۰	۳	۶	۳	۵	۴	۶	۸ طراحی اشتباه
۲۰	۶	۸۰	۱	۴	۲	۴	۳	۵	۹ طراحی و برآورد دست بالا تا دست پایین
۳۰	۲۴	۱۵۰	۲	۵	۳	۵	۴	۶	۱۰ تغییرات پیاپی خواست کارفرما
۴۲	۱۸	۲۵۲	۲	۶	۳	۶	۳	۷	۱۱ تجربه ناکافی پیمانکاران و عوامل
۳۰	۲۷	۱۸۰	۳	۵	۳	۶	۳	۶	۱۲ تجهیزات نامناسب کارگاه
۲۰	۱۸	۱۰۰	۳	۵	۲	۵	۳	۴	۱۳ اطلاعات نادرست ژئومتریک

### بررسی نیاز به اصلاح و کنترل RPN

در این مرحله خطرات را بر اساس عدد اولویت ریسک رتبه بندی کرده و بر اساس نظر سیستم FMEA یک حد RPN در نظر گرفته می شود، در این قسمت از رنگ نیز به عنوان شاخص خطر طبق تقسیم بندی زیر اقدام شده است. خطراتی که با RPN زیر ۸۰ محاسبه گردیده است در طیف سبز و آبی و خطراتی که با RPN محاسبه شده بین ۸۰ تا ۱۵۰ است با رنگ زرد و خطراتی که با RPN در محدوده ۱۵۰ تا ۲۰۰ محاسبه شده با رنگ بنفش و در نهایت خطرات با RPN بالای ۲۰۰ به رنگ قرمز مشخص شده است (جدول ۴).

جدول ۴: تعیین میزان خطر ریسک های شناسایی شده در فرایند کنترل ریسک با FMEA و اقدامات لازم

اقدامات لازم	سطح ریسک	RPN
نیازی با اقدام و داشتن سوابق مدون وجود ندارد.	جزئی	۵۰-۱
اقدام بیشتری نیاز نیست ممکن است با کارهایی که هزینه کمتر دارد مورد ملاحظه قرار گیرد.	قابل تحمل	۸۰-۵۰
تلاش ها باید در جهت کاهش ریسک باشد اما هزینه ها باید به شدت اندازه گیری شده و محدود شوند اقدامات کاهنده ریسک باید در فواصل زمانی مشخص شده اعمال گردد. زمانی که این نوع ریسک همراه با عواقب شدید باشد ارزیابی بعدی صورت گیرد تا اقدامات کنترلی مورد نیاز شناسایی شده و انجام گیرد.	متوسط	۱۵۰-۸۰
قبل از کاهش ریسک باید شروع به فعالیت نمود و ممکن است برای کاهش ریسک نیاز به منابع قابل ملاحظه ای باشد و اگر بتوان ریسک را کاهش داد از اقدامات اضطراری و کنترل های ویژه در حیل کار استفاده نمود.	بالا	۲۰۰-۱۵۰
قبل از کاهش ریسک فعالیت نباید شروع شده و یا ادامه یابد و اگر نتوان ریسک را کاهش داد از انجام فعالیت باید خودداری کرد.	غیر قابل تحمل	۳۰۰-۲۰۰

ریسک هایی که RPN بالای ۸۰ دارند و در واقع نیاز به اصلاح دارند را مشخص نموده و با ارائه راهکار کنترلی در کاهش و حداقل ورود به منطقه کم خطر تر تلاش می گردد. در این پروژه و تحلیل ریسک های آن، ۶ ریسک در سطح جزئی، ۱ ریسک قابل تحمل، ۱۴ ریسک در سطح متوسط و ۶ ریسک در سطح بالا و ۵ ریسک در سطح غیر قابل تحمل قرار گرفته است.

در محاسبات مذکور در سدسازی همانطور که از جدول قبل مشخص شد بیشترین ریسک های موجود از لحاظ تعداد در مخاطرات عوامل و کارکنان و خطرناک ترین ریسک در این عامل گزینه های طراحی اشتباه و تجربه ناکافی کارکنان می باشد و در رتبه های بعدی کیفیت بد مصالح بکار رفته و تجهیزات نامناسب کارگاه در نهایت نیز ریسک های بعدی تحکیمی می باشد. در عامل محیطی با وجود پایین بودن نمرات ریسک در همه زیرعوامل و ریسک ها گزینه های حوادث غیرمترقبه طبیعی و شرایط زیرساختی و نفوذپذیری بالا و وضعیت مواد شیمیایی محل در رتبه های اول تا چهارم ریسک های پرخطر می باشند. در عامل ایمنی نیز که پس از عامل عوامل و دست اندرکاران در جایگاه دوم گزینه های خطر آفرین قرار دارد و شامل عامل های پرخطر اطلاعات و ارزیابی های نادرست، ریزش مقطعی از سد، در نظر نگرفتن استاندارد مناسب برای تجهیزات، خرابی ماشین آلات می باشد. در صنعت مذکور با توجه به تعداد خطاهای مستخرجه در ریزفعالیت های مورد بررسی و آنالیز در قیاس با تحقیقت مشابه که فراوانی و شدت پیامدهای نشای از خطرات بصورت کمی و کیفی مشخص می باشد می تواند آمار قابل قبولی رو روش مناسب در شناسایی خطاهای مختلف با سطوح متفاوت را به ما نشان داده و برنامه ریزی ایمنی و بهداشت را برای چشم انداز و هدف موجود آماده و اجرا نماید. تا هدف غائی سازمان های مرتبط ایجاد گردد. همچنین با ملزم نمودن پیمانکاران در انجام ارزیابی ریسک به روش قبل از آغاز هرگونه فعالیت، در کاهش حوادث و بیماریهای شغلی ناشی از کار، تاثیر بسزایی خواهد داشت.

## بحث و نتیجه گیری

طرح‌های احداث سدها در سراسر جهان در محیطی با عدم قطعیت بالا انجام شده و همواره با درصد بالایی از ریسک همراه هستند هنگام انجام برخی از فعالیتهای ساخت پروژه های سد سازی رویدادهای نامطلوبی وجود دارد که در نتیجه ترکیب های گوناگونی از خرابیهای سخت افزاری، خرابی های نرم افزاری، خطاهای انسانی و رویدادهای طبیعی رخ می‌دهد و می‌تواند سبب بروز تأخیرات زمانی و افزایش هزینه ها در پروژه ها گردد. این پژوهش، ریسک های مختلف ایمنی، محیطی و انسانی، هنگام انجام برخی از فعالیتهای ساخت پروژه های سدسازی را با استفاده از روش تحلیل FMEA مورد ارزیابی قرار داد. سپس با استفاده از نرم افزار Pertmaster به ارزیابی کنترل ریسک ها و تاثیر این روش در روند پروژه پرداخته می شود.

در محاسبات مذکور در سدسازی همانطور که از جدول و نمودار های قبل مشخص شد بیشترین ریسک های موجود از لحاظ تعداد در مخاطرات عوامل و کارکنان و خطرناک ترین ریسک در این عامل گزینه های طراحی اشتباه و تجربه ناکافی کارکنان می باشد و در رتبه های بعدی کیفیت بد مصالح بکار رفته و تجهیزات نامناسب کارگاه در نهایت نیز ریسک های بعدی می باشد.

در عامل محیطی با وجود پایین بودن نمرات ریسک در همه زیرعوامل و ریسک ها گزینه های حوادث غیرمترقبه طبیعی و شرایط زیرساختی و نفوذپذیری بالا و وضعیت مواد شیمیایی محل در رتبه های اول تا چهارم ریسک های پرخطر می باشند.

در عامل ایمنی نیز که پس از عامل عوامل و دست اندرکاران در جایگاه دوم گزینه های خطر آفرین قرار دارد و شامل عامل های پرخطر اطلاعات و ارزیابی های نادرست، ریزش مقطعی از سد، در نظر نگرفتن استاندارد مناسب برای تجهیزات، خرابی ماشین آلات می باشد.

بعد از کنترل ریسک ها و انجام اقدامات لازم و تهیه اطلاعات درست و بکارگیری عوامل باتجربه، کاهش خطر ریسک ها و به عبارت دیگر کاهش تاثیر ریسک ها بر روند انجام پروژه بدست می آید

نتایج شبیه سازی نرم افزار Pertmaster در پروژه سد نشان داد که با کنترل ریسک های موجود در این پروژه می توان احتمال تحقق برنامه زمانبندی به میزان قابل توجهی افزایش داد. همچنین می توان نتیجه گرفت که کنترل ریسک ها با افزایش مبلغ برآورد بودجه پروژه می تواند رابطه مستقیم داشته باشد.

نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد در پروژه‌های سدسازی باید مدیریت سیستم کیفی از همان ابتدا مشخص و روند نظارت بر کیفیت انجام این امور نیز به نحوی درست تعیین گردد و به اجرا درآید.

در تمامی پروژه های سد سازی شناخت کامل همه عوامل موثر در طراحی سد در مراحل مطالعاتی ممکن نیست و بجاست اگر در مطالعات مرحله دوم (مطالعات تفصیلی) گزارش ریسک های شناخته شده پروژه تهیه گردد و در آن ریسکهای مهم و موثر بر مبنای طراحی سازه های اصلی ارائه و راهنمای پاسخ به آن ها نیز اعلام شود. تا مجریان پروژه ها با دریافت اطلاعات تکمیلی تصمیم گیری جامع تری داشته باشند.

به نظر می‌رسد با ارزیابی مدیریت ریسک موجود در پروژه‌های مختلف سدسازی، می‌توان به بهبود قابل ملاحظه‌ای در به حداقل رساندن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی در اهداف یک پروژه دست یافت.

## منابع و مراجع

- [۱] قارونی نیک، مرتضی. (۱۳۹۱)، "بررسی ریسک های موجود در پروژه های تونلسازی راه آهن و مدیریت آنها"، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران.
- [۲] صیادی، احمدرضا؛ حیاتی، محمد؛ آذر، عادل؛ (۱۳۹۰). "ارزیابی و رتبه بندی ریسک در پروژه های تونلسازی با استفاده از روش تخصیص خطی"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید.
- [۳] شمسایی، ا.، رزم آرا، پ.، (۱۳۸۸)، "کاهش ریسک پروژه های سدسازی با استفاده از تلفیق تفکر مدیریت ریسک و مهندسی ارزش"، دومین همایش ملی سدسازی، اسفندماه ۱۳۸۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.
- [۴] صیادی، احمدرضا؛ حیاتی، محمد؛ منجزی، مسعود؛ (۱۳۹۰). "مدیریت ریسک ساخت سد با استفاده از تکنیکهای MADM"، مدیریت صنعتی، دوره ۳، شماره ۷، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- [5] Wagner, H., (ITA AITES - Vice President), Feb. 2006, "Risk Evaluation and Control in Underground Construction", International Symposium on Underground Excavation and Tunnelling.
- [6] Ghosh, S., Jintanapakanont, J; 2004. "Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach"; International Journal of Project Management, Vol. 22, pp. 633-643.
- [7] International society for Trenchless Technology and International Tunneling Association Joint working Group, 2003 , "Risk Budget Management in Progressing Underground Works", Tunnelling and Underground Space Technology, Elsevier Science Limited.
- [8] Reilly, J. J., & Brown, J; 2004. "Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects", Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 19 (B18), pp. 1-8.
- [9] Underground transportation systems chances and risks from the reinsures point of view, Munich Re, pp40-51,2004.
- [10] Yoga M. Yogaranpan, 1996, "Risk Management, the Key to Success in Management of Construction Projects in General and Underground Projects in Particular", Australian, Water Technologies Pty. Ltd. Available on:
- [11] Duddeck, H. (WG 3 - "Contractual Practices"-ITA), 1987," Risk Assessment and Risk Sharing in Tunnelling", Tunnelling and Underground Space Technology, Elsevier, Science Limited.
- [12] Brauer, R. L. (2002). Safety and Health for engineers. New Jersey, USA: Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley.
- [13] Sankar, N. R., & Prabhu, B. S. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. Int J Qual Reliab Manage, 18(3), 324-335.
- [14] Scipioni A, Saccarola G, Centazzo A, & F., A. (2002). FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. Food Control, 13(2002), 495-501.
- [15] Bowles JB, Pelaez CE., (1995), "Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure modes, effects and criticality analysis". Reliability Engineering & System Safety, 50, pp. 203-213.