ارزیابی خطرپذیری لرزه ای پل‌های شهر بابلسر در حالت بهره‌برداری با استفاده از روش FMEA-FUZZY

غلامرضا عبداله زاده*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
فرشیدرضا حقیقی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران
محمدجواد طاهری امیری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
سیما راستگو، دانش آموخته کارشناس ارشد، موسسه آموزش عالی‌طبری بابل، بابل، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Abdollahzadeh@nit.ac.ir
دریافت: ۹۵/۰٤/۱٤- پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۸

چکیده

پل‌ها با هر شکل سازه‌ای و با هر نوع مصالحی که ساخته شوند، دیر یا زود اثرات فرسودگی در آنها ظاهر می‌شود. در نوع و میزان این فرسودگی‌ها و میزان گسترش آنها عوامل متعددی تاثیرگذار می‌باشند. هر یک از این عوامل چنانچه مورد توجه و رسیدگی قرار نگیرند، منجر به کاهش عمر مفید سازه خواهند شد. در این پژوهش پس از بررسی‌های انجام شده با استفاده از روش FMEA-FUZZY، مشخص شد که زلزله به عنوان مهمترین و تاثیرگذارترین عامل خرابی پل‌ها در حالت بهره‌برداری است. به همین دلیل به بررسی دقیق زلزله وارده به پل‌های شهر بابلسر، که یکی از مهمترین شهرهای توریستی کشورمان بوده و پلهای این شهر دونیمه شرقی و غربی این شهر را به متصل نموده و نقش حیاتی در این شهر را داراست، پرداخته شده و پس از مدلسازی پل‌ها در نرم‌افزار SAP2000 ، احتمال خرابی هر یک از اجزای سازه‌ای پل محاسبه گردید. سپس با استفاده از روش FMEA-FUZZY میزان ریسک هر یک از پل‌ها در برابر زلزله تعیین شده است. تفاوت رویکرد ارایه شده در این پژوهش با پژوهش‌های پیشین در این است که با استفاده از این رویکرد می‌توان با بودجه‌ای مشابه حالات قبلی، وضعیت کلیه پل‌ها را اصلاح نموده و به حالت نسبتا مناسبی رساند در صورتی که در پژوهش‌های پیشین، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری‌چند معیاره فقط پلی که در بحرانی‌ترین حالت بوده را به عنوان پل بحرانی انتخاب نموده و کل بودجه ابتدا برای این پل صرف می‌گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هر کدام از پل‌ها در چه پارامترهایی دارای ضعف می‌باشند بنابراین لازم است تمهیدات لازم در جهت مقاوم‌سازی این پل‌هادر برابر زلزله انجام گیرد تا از مشکلات احتمالی به وجود آمده در اثر بروز زلزله بر روی این پل‌ها جلوگیری به عمل آید. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که کمانش پایه‌های فلزی در پل اول و دوم در ضرورت اصلاح قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: عدد اولویت ریسک، منطق فازی، FMEA، زلزله، پل‌های بابلسر

۱- مقدمه

یکی از روش‌های تحلیل رویدادهای ریسک،آنالیز حالات خرابی و اثرات آن (FMEA)[1] است. در چارچوب FMEA ابتدا به شناسایی حالات خرابی در سیستم پرداخته و سپس دلایل مختلف بروز این خرابی‌ها و اثرهای آنها بر روی سیستم، تعیین و در نهایت عدد اولویت ریسک محاسبه می‌شود. استفاده از منطق‌فازی برای اجرای FMEA راهکاری

مناسب برای رفع محدودیت‌های این روش است، چرا که منطق فازی مناسب‌ترین گزینه برای مدل‌سازی در سیستم‌هایی است که دارای پیچیدگی زیادی بوده و یا همچنین اطلاعاتی که در مورد آن‌ها در اختیار می‌باشد مبهم و غیر صریح است. در صنعت ساخت و ازجمله پروژه‌های پل‌سازی دسترسی محدود به اطلاعات بسیار مشکل و یا حتی غیرممکن است. در این حالت عملیات ریاضیاتی فازی که از نظر محاسباتی ساده‌اند و نیازی به اطلاعات مفصل تجربی ندارند، می‌توانند به عنوان ابزاری مفید واقع شوند. هدف از انجام این مطالعه، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های وارده به پل‌ها در حالت بهره‌برداری و ایجاد اقدامات اصلاحی مورد نیازبرای هر یک از اعضای پل با استفاده از رویکرد FMEA فازی است که در این روش بودجه تخصیص داده شده برای عملیات اصلاحی میان پل‌های مختلف تقسیم شده و کلیه پل‌ها را به یک سطح مناسب می‌رساند. ضعف موجود در تحقیقات گذشته این است که در این مطالعات تنها مشخص می‌شد که کدام پل بیشترین ضعف را داشته و نیاز به اصلاحات دارد و به بررسی اعضای مختلف هر یک از پل‌ها پرداخته نشده است.

۲- پیشینه تحقیق

امروزه یکی از معضلات مهم مدیریت پل، مشکلات مربوط به خرابی پل‌هاست. چنانکه مکین‌تایر در سال ۱۹۹۷ عنوان نمود که انسان وارث پل‌هایی است که نتیجه‌ی سال‌های متمادی بی توجهی، سرمایه‌گذاری ناکافی و نگهداری عکس العملی است (McIntyre, 1997). همچنین هنری پتروسکی[۲] در سال ۱۹۹۵ در کتاب خود تحت عنوان رویاهای مهندسی[۳] نوشته است(Petroski, 1995) : پل‌ها هم به اندازه انسان‌ها، تحت تأثیر محیط اطراف خود قرار دارند و ترافیک، آلودگی، استفاده نادرست و کوتاهی در نگهداری آن‌ها، اثرات مخربی را به دنبال خواهد داشت. بنابراین عواملی به طور مستقیم یا غیر مستقیم قدرت و سلامت پل را محدود خواهد کرد. تشخیص این محدودیت‌ها و بازرسی مرتب برای پیشگیری از خرابی‌های احتمالی ضروری است. فراموش کردن این امر سبب می‌شود که خود را در موقعیتی که امروزه آمریکا در آن قرار گرفته است یافته و از هر پنج پل، تقریباً یکی از لحاظ سازه‌ای معیوب می‌باشد (Rayal, 2006). در امریکا ۱۲۵۰۰۰ پل به لحاظ مشکلات سازه‌ای ارزیابی شدند. نتیجه این تحقیق نشان داد که حداقل ۹۰ بیلیون دلار برای برطرف کردن این مشکلات نیاز می باشد (Aktan et al., 1996; Dunker and Rabbet, 1993). هوانگ مدلی برای نگهداری همزمان از عناصر پل ارایه داده است (Huang and Huang, 2012). ارزیابی ریسک پل اغلب به منظور تعیین اولویت و یا طرح مطلوب نگهداری پل می‌باشد به عنوان مثال، آدی[۴] و همکاران یک رویکرد مبتنی بر ریسک برای پل‌ها با خطرات متعدد ارایه دادند(Adey et al., 2003). جانسون[۵] و نیزگودا روشی مبتنی بر ریسک برای رتبه‌بندی، مقایسه و انتخاب مناسب‌ترین پل و اقدامات متقابل با استفاده از حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات و شماره اولویت ریسک ارایه دادند (Johnson and Niezgoda, 2004). لونیس یک رویکرد مبتنی بر ریسک برای بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری پل که به معیارهای مختلف و احتمالا متناقض کشیده می‌شود ارایه داده است(Lounis, 2004). پل‌ها، نقش مهمی برای برقراری ارتباط بین جاده‌ها دارند و نیز سرمایه گذاری اولیه برای ساختن آن‌ها بسیار سنگین است و اگر ظرفیت تحمل بار[۶] آن‌ها کاهش یابد و یا فرو ریزند هزینه لازم برای بازسازی آن‌ها دوبرابر خواهد بود. مشکل بزرگتر هنگام درخواست بودجه برای تعمیر پل روی می‌دهد که مهندس پل باید توضیح دهد که این خرابی‌ها به چه علت روی داده است(Petroski, 1995). وانگ در مطالعات متعددی ارزیابی ریسک پل را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی فازی [7] (Wang and Elhag, 2007). روش ترکیبی

تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل پوششی داده‌ها[۸] (Wang et al., 2008) ، شبکه عصبی-فازی (Wang and Elhag, 2006) و ترکیب روش TOPSIS و فازی انجام داد (Wang and Elhag, 2008).

۳- روش آنالیز حالات خرابی و اثرات آن[۹]

در چارچوب FMEA تحلیل ریسک از مرحله جزئی سیستم شروع و یک لیست از حالات خرابی مرتب شده و تأثیر آن حالات خرابی با محاسبه یک شاخص به نام عدد اولویت ریسک مورد تحلیل قرار می‌گیرد.. از این روش برای شناسایی ریسک‌های به وجود آمده در روند خرید یک بیمارستان عمومی استفاده شده است که در نهایت منجر به بهبود روند خرید این بیمارستان عمومی گشته است (Kumru and Kumru, 2013). همچنین از این روش در زمینه مدیریت پروژه‌ها نیز بهره گرفته شده است که در نهایت استفاده از این روش منجر به کم شدن هزینه‌های پروژه شده است (Bahrami et al., 2012). FMEA را می‌توان در سه مرحله زیر بکار گرفت (Abdelgawad and Fayek, 2010).

۳-۱- شناسایی حالات خرابی سیستم

در این مرحله به شناسایی حالات خرابی در سیستم پرداخته و دلایل مختلف بروز این خرابی‌ها و اثراتشان بر روی سیستم تعیین می‌شود.

۳-۲- محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)[۱۰]

در روش FMEA، درجه وضعیت بحرانی با محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)که محدوده بین ۱ تا۱۰۰۰ را دارد تعیین می‌شود. RPN از حاصل ضرب سه فاکتور شدت اثر ریسک (S)[۱۱] ، وقوع (O)[۱۲] و درجه شناسایی (D)[۱۳] بدست می‌آید. شدت اثر ریسک (S)، میزان جدیت تاثیر خرابی را منعکس می‌کند تا اثر بالقوه حالات خرابی مشخص شود. وقوع (O)، از احتمال رخ‌دادن خرابی و علت بروز خرابی سرچشمه می‌گیرد و درجه شناسایی (D)، به عنوان مقیاسی از قابلیت کنترل‌های فعلی برای یافتن علت و مکانیزم شکست تعریف می‌شود. هر سه فاکتور درمحدوده ۱ تا ۱۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۳- کاهش حالات خرابی

در این مرحله بر اساس RPN محاسبه شده اعضای تیم برای کاهش خرابی‌های شناخته شده تلاش می‌کنند.

FMEA، در کنار مزیت‌هایی همچون فراهم نمودن اطلاعات ارزشمند برای تحلیل درخت خطا و حمایت از شناسایی حالات خرابی ممکن، محدودیت‌هایی نیز دارد که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (Abdelgawad and Fayek, 2010):

- هیچ دلیلی وجود ندارد که S، O وD ضرب شوند تا RPN به دست آید.
- وجود نقص در مورد روش اجرای محاسبات با استفاده از عمل ضرب و همچنین روش تفسیر نتایج.

به عنوان مثال RPN دو حالت خرابی با شدت اثر، وقوع و شناسایی به ترتیب (۹، ۵، ۵) و (٦، ۷، ٦) برابر ۲۲۵ و ۲۵۲ می‌باشد. در صورتی که اولین خرابی به دلیل شدت بالاتر باید اولویت بالاتری برای عملیات اصلاحی داشته باشد.

- تمایز قائل نشدن بین اهمیت متغیرهای ورودی یعنی شدت، وقوع و شناسایی به هنگام محاسبه RPN.
- فقدان دستور العمل‌های رسمی برای ارتباط RPN محاسبه شده با عملیات اصلاحی مورد نیاز.

۳-٤- تلفیق FMEA با منطق فازی

۳-٤-۱- تعریف اصطلاحات

برای تلفیق FMEA با منطق فازی باید اصطلاحات زیر تعریف شود.(Abdelgawad and Fayek, 2010)

- تاثیر: تاثیر بالقوه مرتبط با وقوع یک رویداد ریسک با I نشان داده شده و در محدوده ۱ تا ۱۰ تعریف می‌شود.
- احتمال وقوع[۱۴]: احتمال وقوع رویدادهای ریسک در محدوده ۱ تا ۱۰ تعریف و با P نشان داده می‌شود.
- شناسایی/کنترل[۱۵]: قابلیت شناسایی استراتژی پاسخ به ریسک در شناسایی و کنترل دلایل اصلی قبل از اینکه منجر به وقوع رویداد ریسک گردند و کنترل تاثیر وقوع رویداد ریسک در محدوده ۱ تا ۱۰ تعریف و با D نشان داده می‌شود.
- عدد اولویت ریسک فازی[۱۶]:عدد اولویت ریسک فازی در محدوده ۱ تا ۱۰۰۰ تعریف و با FRPN نشان داده می‌شود.

۳-٤-۲- تعریف عبارات زبانی برای متغیرهای ورودی

با استفاده از نظر کارشناسان برای متغیرهای ورودی شناسایی/کنترل، سه عبارت زبانی بالا، متوسط و کم در نظر گرفته شده که در جداول شماره ۱، ۲ و ۳ تعاریف مربوط به این عبارت‌های زبانی که مورد قبول برای پروژه های پلسازی بوده است، آمده است (Abdelgawad and Fayek, 2010).

۳-٤-۳- تعریف توابع عضویت برای متغیرهای ورودی و خروجی

با استفاده از تکنیک دلفی فازی و با توجه به جداول ۱ تا ۳، توابع عضویت برای متغیرهای ورودی و متغیر خروجی ایجاد شد. شکل‌های ۱ تا ٤ نتایج را نشان می‌دهند.

جدول۱. تعریف عبارات زبانی برای احتمال وقوع

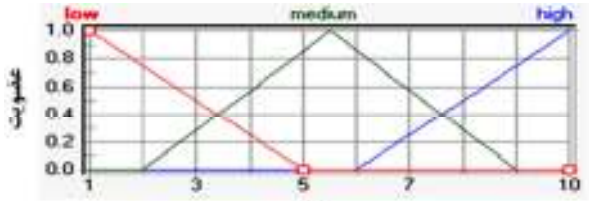
احتمال وقوع	عبارت زبانی
شانس وقوع بالای ۵۵٪	بالا
شانس وقوع بین ۱۵٪ تا ۵۵٪	متوسط
شانس وقوع بین ۱٪ تا ۱۵٪	کم

جدول ۲. تعریف عبارات زبانی برای تاثیر

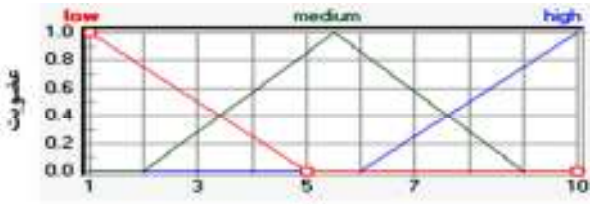
مقوله تاثیر	عبارات زبانی
غیرقابل تعمیر باخسارت مخرب به تجهیزات	بالا
غیرقابل تعمیر وخسارت به تجهیزات جزیی	متوسط
سیستم قابل تعمیر با افت کم عملکرد آن	کم

جدول ۳. تعریف عبارات زبانی برای برای شناسایی/کنترل

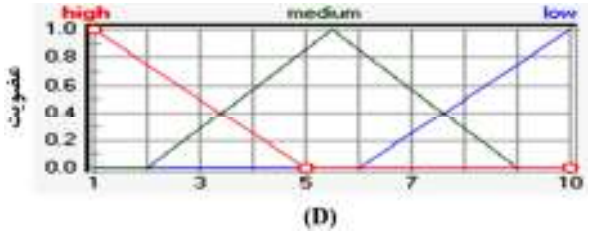
شناسایی/کنترل	عبارت زبانی
تیم پروژه قادر به شناسایی یک استراتژی پاسخ ریسک با شانس بالای شناسایی رویداد ریسک،کنترل دلایل اصلی و نتیجه رویداد ریسک می‌باشد.	بالا
تیم پروژه قادر به شناسایی یک استراتژی پاسخ ریسک با شانس متوسط شناسایی رویداد ریسک،کنترل دلایل اصلی و نتیجه رویداد ریسک می‌باشد.	متوسط
تیم پروژه قادر به شناسایی یک استراتژی پاسخ ریسک با شانس کم شناسایی رویداد ریسک،کنترل دلایل اصلی و نتیجه رویداد ریسک می‌باشد.	کم



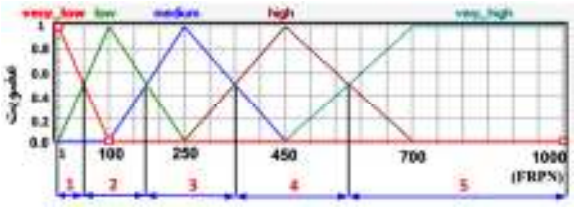
شکل۱. توابع عضویت برای احتمال وقوع



شکل ۲. توابع عضویت برای تاثیر



شکل ۳. توابع عضویت برای شناسایی/کنترل



شکل ٤. توابع عضویت برای FRPN تخصیص اولویت برای ایجاد

عملیات اصلاحی مطابق با FRPN محاسبه شده

کارشناسان با استفاده از شکل ٤، ارتباط بین FRPN محاسبه شده و نیاز به ایجاد عملیات اصلاحی را مطابق با جدول ٤ ایجاد نمودند (Abdelgawad and Fayek, 2010).

جدول ٤. FRPN و اولویت لازم برای ایجاد عملیات اصلاحی

ردیف	اولویت لازم برای ایجاد عملیات اصلاحی	مقدار FRPN
۱	ایجاد عملیات اصلاحی ضروری نیست	X<۵۰
۲	اولویت کم برای ایجاد عملیات اصلاحی	۵۰≤X<۱۷۵
۳	اولویت متوسط برای ایجاد عملیات اصلاحی	۱۷۵≤X<۳۵۰
٤	اولویت بالا برای ایجاد عملیات اصلاحی	۳۵۰X<۵۷۵
۵	ضروری بودن ایجاد عملیات اصلاحی	۵۷۵≤X<۱۰۰۰

۳-٤-٤- تعریف قواعد فازی

از آن‌جا که سه متغیر ورودی P ,I ,D و برای هر متغیر سه عبارت زبانی ارایه شده است، در نتیجه می‌توان ۲۷ قانون را با استفاده از نظر کارشناسان ریسک ایجاد نمود. یک مثال ساده از قوانین به شرح زیر است:

اگر تاثیر یک رویداد ریسک "کم" و احتمال وقوع آن "کم" و شانس شناسایی/ کنترل آن "بالا" باشد آن‌گاه FRPN "بسیار کم" است.

۳-٤-۵- موتور استنتاج فازی

موتور استنتاج، عملگرهایی مانند مینیمم، ماکزیمم و مجموع را ترکیب و خروجی فازی را از مجموعه‌های فازی ورودی استخراج می‌کند.

۳-٤-٦- غیرفازی ساز

برای غیر فازی کردن خروجی‌های فازی در این تحقیق روش مرکز بازه ماکزیمم بکار گرفته شده است. این روش دارای دومرحله است، درمرحله اول برای هر ارزش زبانی، یک ارزش منحصردرنظرگرفته شده ودرمرحله دوم،"بهترین مصالحه" ازطریق ایجاد موازنه بین نتایج به دست آمده است. رویکرد معمول برای مشخص کردن ارزش نمونه، درنظر گرفتن نقطه ماکزیمم تابع عضویت است. اگرتابع عضویت یک بازه فازی باشد، میانه آن به عنوان ارزش نمونه انتخاب می‌شود (آذر و فرجی، ۱۳۸۹).

٤- مطالعه موردی و اعتبارسنجی سیستم

٤-۱- معرفی مطالعه موردی

پل‌های شهر بابلسر در استان مازندران، شهر توریستی بابلسر و بر روی رودخانه بابلرود واقع است. دلیل بررسی این پل‌ها این است که این پل‌ها نقش استراتژیکی در شهر

دارند و در صورت خرابی آن‌ها ارتباط دو قسمت اصلی شهر با هم قطع می‌گردد. خرابی این پل‌ها در مواقعی از سال که مسافران بسیار زیادی به این شهر سفر می‌کنند، مشکلات بسیار زیادی برای شهر ایجاد خواهد نمود. که این امر اهمیت مطالعه این پل‌ها را بیش از پیش نشان خواهد داد.

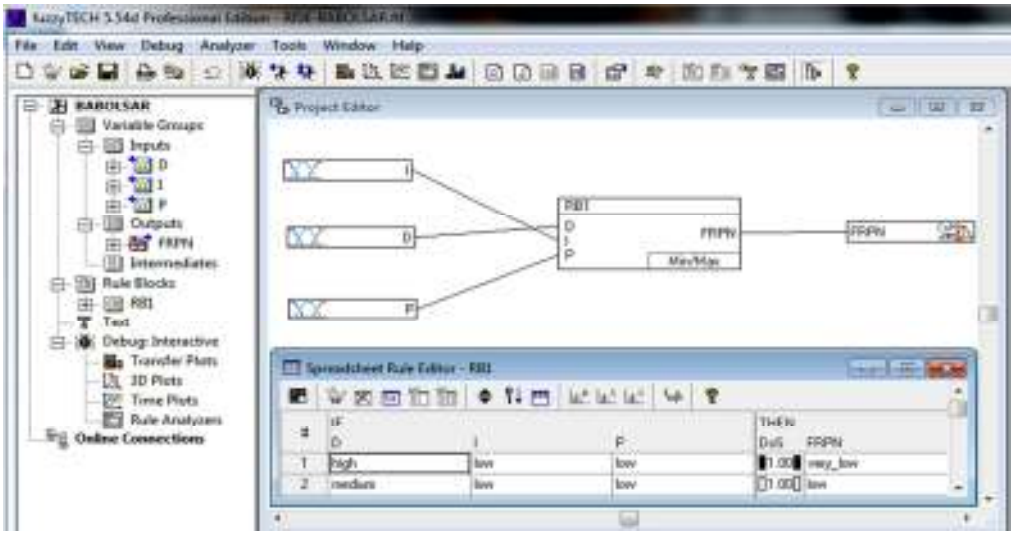
شکل۵. نمایش پل‌های بابلسر با استفاده از تصاویر هوایی

٤-۲- شناسایی ریسک پل‌ها در حالت بهره‌برداری

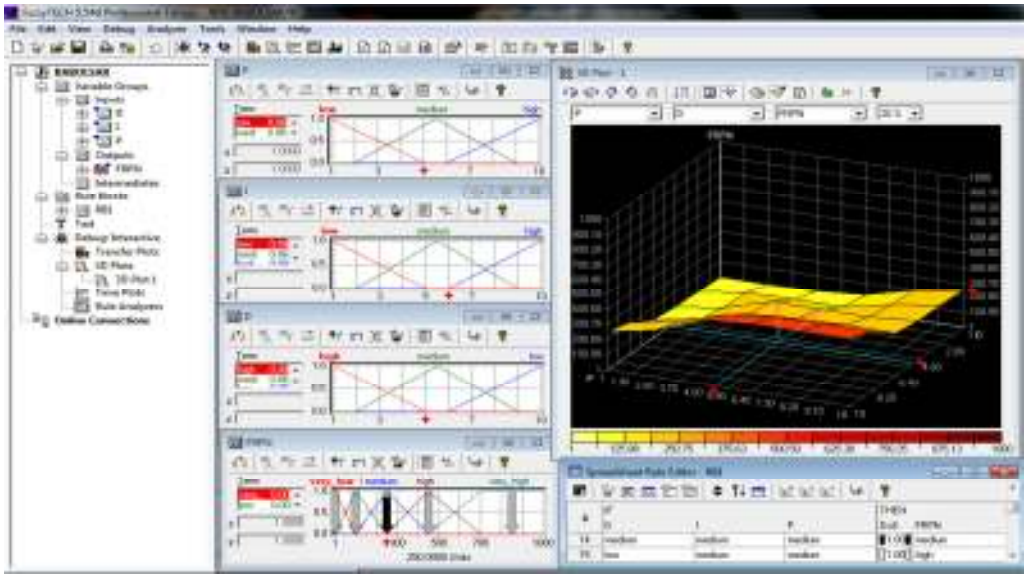
به منظور شناسایی عوامل خطرآفرین بر روی پل‌ها در حالت بهره‌برداری، با مطالعه مقالات مختلف و نظر متخصصان امر در زمینه پل‌ها عوامل تأثیرگذار بر خرابی پل‌ها به صورت زیر به دست آمده است (Rayal, 2006; Wang et al., 2013; Ju, 2013; Pisani and Ballio, 2010):

۱. طراحی نامناسب پل‌ها و نوع سازه
۲. تأثیر مصالح بکار رفته در تخریب پل‌ها
۳. اجرای نامناسب پل‌ها و کیفیت نامناسب ساخت
٤. تأثیر تغییرات وضعیت جوی بر روی خرابی پل‌ها
۵. آبشستگی پایه پل‌ها
٦. تأثیر تغییرات حرارتی و ایجاد ترک در پل‌ها
۷. تأثیر افزایش سن پل بر خرابی پل‌ها
۸. وقوع زلزله
۹. وقوع سیل
۱۰. تراکم بارهای وارده

پرسش‌نامه‌ای تنظیم و میان کارشناسان توزیع شده تا آنها نظراتشان را با استفاده از جداول ۱ تا ۳، در خصوص احتمال وقوع و تاثیر هر یک از ریسک‌ها و همچنین شانس شناسایی/کنترل ریسک‌ها بیان نمایند. سپس مقادیر متغیرهای ورودی P,D و I برای محاسبه مقدار FRPN وارد سیستم خبره فازی ایجاد شده در نرم افزار FuzzyTech 5.54 گردید. شکل‌های ٦ و ۷ سیستم خبره ایجاد شده در نرم افزار و جدول ۵ نتایج به دست آمده مربوط به FRPN محاسبه شده برای ریسک‌های شناسایی شده را نشان می‌دهند.



شکل ٦. سیستم خبره فازی برای تحلیل وضعیت بحرانی ریسک



شکل۷. سیستم خبره فازی برای تحلیل وضعیت بحرانی ریسک

پس از مشخص شدن عوامل تأثیرگذار بر روی خرابی پل‌ها در حالت بهره‌برداری، لازم است بحرانی‌ترین ریسک را شناسایی کرده و با بررسی دقیق این پارامتر از خسارت‌های احتمالی به وجود آمده در اثر بروز این پارامتر می‌توان جلوگیری کرد.

بنابراین به منظور اولویت‌بندی ریسک‌ها از روش FMEA-FUZZY با توجه به عبارت‌های زبانی تعریف شده استفاده شده است که نتایج حاصل از اولویت‌بندی در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

پس از وزن‌دهی نتایج با استفاده از روش FMEA-FUZZY نتایج حاصل از اولویت‌بندی پارامترها در جدول شماره٦ نشان داده شده است: با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ٦ مشخص است وقوع زلزله خطرناک‌ترین عاملی است که ممکن است موجب ایجاد خسارت بر روی پل‌های بابلسر گردد، بدین منظور در این مطالعه به بررسی اثر وقوع زلزله بر روی پل‌های بابلسر پرداخته خواهد شد.

جدول ۵. استفاده از روش FMEA-FUZZY برای محاسبه میزان ریسک هر یک از عوامل

ریسک	احتمال وقوع	شدت خرابی	میزان کنترل و مهار	عدد RPN	عدد FRPN
طراحی نامناسب پل‌ها و نوع سازه	۵	٦	۳	۹۰	۱۵۵
تأثیر مصالح بکار رفته در تخریب پل‌ها	۳	٤	٤	٤۸	۱۱۷
اجرای نامناسب پل‌ها و کیفیت نامناسب ساخت	۵	۵	٤	۱۰۰	۲۰٤
تأثیر تغییرات وضعیت جوی بر روی خرابی پل‌ها	۲	۲	۷	۲۸	۱٤٦
آبشستگی پایه پل‌ها	۷	۵	۵	۱۷۵	۲۵۰
تأثیر تغییرات حرارتی و ایجاد ترک در پل‌ها	۲	٤	۳	۲٤	٦۷
تأثیر افزایش سن پل بر خرابی پل‌ها	۸	۵	۷	۲۸۰	۳۱۷
وقوع زلزله	۳	۱۰	۱۰	۳۰۰	٤٦۸
وقوع سیل	۵	۵	٦	۱۵۰	۲۵۰

تراکم بارهای وارده	۷	۵	٦	۲۱۰	۲۵۰

جدول ٦. نتایج حاصل از اولویت‌بندی گزینه‌ها به روش FMEA-FUZZY

اولویت	ریسک	عدد FRPN
اولویت اول	زلزله	٤٦٨
اولویت دوم	افزایش سن و خستگی پل	۳۱۷
اولویت سوم	تراکم بارهای وارده	۲۵۰
اولویت سوم	سیل	۲۵۰
اولویت سوم	آبشستگی پل	۲۵۰
اولویت چهارم	اجرای نامناسب و کیفیت نامناسب ساخت	۲۰٤
اولویت پنجم	طراحی نامناسب و نوع سازه	۱۵۵
اولویت هشتم	هوا و شرایط جوی	۱٤٦
اولویت نهم	مصالح ساختمانی	۱۱۷
اولویت دهم	حرارت	٦۷

۵- بررسی تاثیر وقوع زلزله بر روی پل‌های بابلسر

مطابق با جدول ٦، موثرترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی خرابی پل‌ها در حالت بهره‌برداری، وقوع زلزله بر روی پل‌ها می‌باشد که در اثر وقوع این پارامتر، می‌تواند اثرات بسیار مخربی را بر روی پل ایجاد کند. برای مقایسه اثر زلزله بر روی هر یک از پل‌ها و مقایسه پل‌ها در اثر وقوع این پارامتر، از روش FMEA-FUZZY استفاده شده است، برای این منظور، عوامل تأثیرگذار بر روی پل‌ها در اثر وقوع زلزله مشخص شد،که به شرح ذیل می‌باشد:

۱. شکست برشی پایه‌ها
۲. نارسایی خمشی
۳. فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه
٤. چرخش کوله‌ها و پایه‌ها
۵. برش سوراخ کننده پایه در عرشه
٦. بروز روانگرایی
۷. عدم تقارن پایه‌ها نسبت به محور مرکزی
۸. تفاوت بین سختی پایه‌ها
۹. فاصله مرکز جرم و مرکز سختی
۱۰. اختلاف بین دهانه‌های مجاور
۱۱. اثرات پی‌های مجاور بر پل
۱۲. کمانش موضعی عناصر عرشه‌های فولادی
۱۳. کمانش پایه‌های فلزی
۱٤. اعمال ضربه بین عرشه و کوله و یا کلیدهای برشی

برای استفاده از روشFMEA-FUZZY در این قسمت، باید احتمال وقوع هر یک از پارامترهای ذکر شده در اثر وقوع زلزله به دست آید. برای این منظور با مدل کردن پل‌ها در نرم‌افزار SAP، میزان احتمال خرابی هر یک از پل‌ها بر اثر پارامترهای ذکر شده به دست آمده است.در گام بعدی میزان شدت اثر و میزان کنترل هر یک از پارامترها با توجه به نتایج به دست آمده از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان تعیین گردید. در نهایت میزان FRPN هر یک از پارامترها محاسبه گردید. نتایج به دست آمده مربوط به هر یک از پل‌ها در جداول ۷ و ۸ و ۹ نشان داده شده است.

جدول ۷. استفاده از روش FMEA-FUZZY برای محاسبه میزان ریسک هر یک از اعضای پل‌ها برای پل ۱

خسارات به وجود آمده تحت اثر زلزله	احتمال وقوع	شدت اثر	میزان کنترل و مهار	عدد FRPN
شکست برشی پایه‌ها	۱	۳	۹	۲۵۰
نارسایی خمشی	٤	۲	٦	۱۰۰
فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه	٤	۷	۱۰	٤۹۷
چرخش کوله‌ها و پایه‌ها	۹	٤	٤	۲۰٤
برش سوراخ کننده پایه در عرشه	٤	۵	۵	۲۰٤
بروز روانگرایی	۵	۸	٤	۳۱۰
عدم تقارن پایه‌ها نسبت به محور مرکزی	۱	۵	۲	۱۰۰
تفاوت بین سختی پایه‌ها	۱	۵	٤	۱۰۰
فاصله مرکز جرم و مرکز سختی	٤	۹	۳	۲٦۹
اختلاف بین دهانه‌های مجاور	۱	۵	٤	۱۰۰
اثرات پی‌های مجاور بر پل	۹	۵	۷	۳۱۱
کمانش موضعی عناصر عرشه‌های فولادی	۹	۲	۳	۱۵۵
کمانش پایه‌های فلزی	٤	۱۰	۱۰	٦٦۷
اعمال ضربه بین عرشه و کوله و یا کلیدهای برشی	۹	۲	۲	۱۰۰

جدول ۸. استفاده از روش FMEA-FUZZY برای محاسبه میزان ریسک هر یک از اعضای پل‌ها برای پل ۲

خسارات به وجود آمده تحت اثر زلزله	احتمال وقوع	شدت اثر	میزان کنترل و مهار	عدد FRPN
شکست برشی پایه‌ها	۱	۳	۹	۲۵۰
نارسایی خمشی	٤	۲	٦	۱۰۰
فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه	٤	۷	۱۰	٤۹۷
چرخش کوله‌ها و پایه‌ها	۹	٤	٤	۲۰٤
برش سوراخ کننده پایه در عرشه	٤	۵	۵	۲۰٤
بروز روانگرایی	۹	۸	٤	۳۷۷
عدم تقارن پایه‌ها نسبت به محور مرکزی	۱	۵	۲	۱۰۰
تفاوت بین سختی پایه‌ها	۱	۵	٤	۱۰۰
فاصله مرکز جرم و مرکز سختی	٤	۹	۳	۲٦۹
اختلاف بین دهانه‌های مجاور	۱	۵	٤	۱۰۰
اثرات پی‌های مجاور بر پل	۹	۵	۷	۳۱۱
کمانش موضعی عناصر عرشه‌های فولادی	۹	۲	۳	۱۵۵
کمانش پایه‌های فلزی	٤	۱۰	۱۰	٦٦۷
اعمال ضربه بین عرشه و کوله و یا کلیدهای برشی	۹	۲	۲	۱۰۰

جدول ۹. استفاده از روش FMEA برای محاسبه میزان ریسک هر یک از اعضای پل‌ها برای پل ۳

خسارات به وجود آمده تحت اثر زلزله	احتمال وقوع	شدت اثر	میزان کنترل و مهار	عدد FRPN
شکست برشی پایه‌ها	۱	۳	۹	۲۵۰
نارسایی خمشی	۱	۲	٦	۱۰۰
فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه	٤	۷	۱۰	٤۹۷
چرخش کوله‌ها و پایه‌ها	٤	٤	٤	۱۵۷
برش سوراخ کننده پایه در عرشه	٤	۵	۵	۲۰٤
بروز روانگرایی	٤	۸	٤	۳۱۰
عدم تقارن پایه‌ها نسبت به محور مرکزی	۱	۵	۲	۱۰۰
تفاوت بین سختی پایه‌ها	۱	۵	٤	۱۰۰
فاصله مرکز جرم و مرکز سختی	٤	۹	۳	۲٦۹
اختلاف بین دهانه‌های مجاور	۱	۵	٤	۱۰۰
اثرات پی‌های مجاور بر پل	٤	۵	۷	۲٦۲
کمانش موضعی عناصر عرشه‌های فولادی	–	–	–	–
کمانش پایه‌های فلزی	–	–	–	–
اعمال ضربه بین عرشه و کوله و یا کلیدهای برشی	٤	۲	۲	۷۰

مطابق با جداول شماره ۷ تا ۹ ، در پل‌های اول و دوم شهر بابلسر پارامترهایی همچون، فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه، چرخش کوله‌ها و پایه‌ها، برش سوراخ کننده پایه در عرشه، بروز روانگرایی، فاصله مرکز جرم و مرکز سختی، اثرات پی‌های مجاور بر پل و کمانش پایه‌های مجاور به عنوان عوامل بحرانی شناخته شدند. در پل سوم شهر بابلسر نیز پارامترهایی مانند شکست برشی پایه‌ها، فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه، برش سوراخ کننده پایه در عرشه، بروز روانگرایی، فاصله مرکز جرم و مرکز سختی، اثرات پی‌های مجاور بر پل، کمانش پایه‌های فلزی تحت اثر زلزله به عنوان عوامل بحرانی شناخته شدند که ممکن است در اثر بروز زلزله بر روی این پل‌ها دچار آسیب گردند و باید تمهیداتی برای جلوگیری از به وجود آمدن مشکل برای این اعضا به عمل آید.بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در جداول ۷ تا ۹ باید عملیات اصلاحی متفاوتی برای هر یک از پارامترها در پل‌های مختلف لحاظ گردد که در جدول شماره ۱۰ نشان داده شده است. شباهت میان اولویت‌های اصلاحی ۳ پل به این دلیل می‌باشد که سه پل در موقعیت مکانی تقریبا مشابه،در شرایط محیطی برابر می‌باشند و بسیاری از این پارامترها دارای اولویت اصلاحی مشابه می‌باشد. بنابراین با توجه ساختار ارایه شده در این پژوهش می‌توان پل‌های مختلف را از نظر اولویت عملیات اصلاحی در هنگام بروز زلزله مشخص کرد.

٦- نتیجه‌گیری

۱- با توجه به تعریف توابع عضویت و با استفاده از مقدار FRPN به دست آمده برای انجام عملیات اصلاحی در پل‌ها، مشخص شده که مقدار کمتر از ۵۰ نیاز به عملیات

اصلاحی نمی‌باشد، مقدار بین ۵۰ تا ۱۷۵ اولویت اصلاحی کم، مقدار بین ۱۷۵ تا ۳۵۰ اولویت اصلاحی متوسط، مقدار بین ۳۵۰ تا ۵۷۵ اولویت اصلاحی زیاد و مقدار بین ۵۷۵ تا ۱۰۰۰ ضروری برای عملیات اصلاحی می‌باشد.

جدول ۱۰. بررسی اولویت اصلاحی برای هر یک از پل‌ها

خسارات به وجود آمده تحت اثر زلزله	پل ۱	پل ۲	پل ۳
شکست برشی پایه‌ها	اولویت متوسط	اولویت متوسط	اولویت متوسط
نارسایی خمشی	اولویت کم	اولویت کم	اولویت کم
فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه	اولویت بالا	اولویت بالا	اولویت بالا
چرخش کوله‌ها و پایه‌ها	اولویت متوسط	اولویت متوسط	اولویت کم
برش سوراخ کننده پایه در عرشه	اولویت متوسط	اولویت متوسط	اولویت متوسط
بروز روانگرایی	اولویت متوسط	اولویت بالا	اولویت متوسط
عدم تقارن پایه‌ها نسبت به محور مرکزی	اولویت کم	اولویت کم	اولویت کم
تفاوت بین سختی پایه‌ها	اولویت کم	اولویت کم	اولویت کم
فاصله مرکز جرم و مرکز سختی	اولویت متوسط	اولویت متوسط	اولویت متوسط
اختلاف بین دهانه‌های مجاور	اولویت کم	اولویت کم	اولویت کم
اثرات پی‌های مجاور بر پل	اولویت متوسط	اولویت متوسط	اولویت متوسط
کمانش موضعی عناصر عرشه‌های فولادی	اولویت کم	اولویت کم	–
کمانش پایه‌های فلزی	ضروری	ضروری	–
اعمال ضربه بین عرشه و کوله و یا کلیدهای برشی	اولویت کم	اولویت کم	اولویت کم

۲- پس از بررسی ریسک‌ها با استفاده از روش FUZZY-FMEA مشخص شد که پارامتر زلزله به عنوان مهمترین عامل و پارامترهای سن پل، تراکم بارهای وارده، سیل و آبشستگی پل در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

۳- کمانش پایه‌های فلزی در پل اول و دوم در ضرورت اصلاح قرار دارد و همچنین فرو افتادن عرشه از تکیه‌گاه در هر سه پل در اولویت اصلاحی بالا قرار دارد و بقیه پارامترها در اولویت‌های متوسط و پایین قرار دارند.

٤- رویکرد ارایه شده در این تحقیق منجر به ایجاد ساختار جدیدی شده است. در این رویکرد به صورت موردی هر یک از اعضای پل مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شد که در صورتی که با یک بودجه مشخص نیاز به اصلاحات در چندین پل وجود داشته باشد، می‌توان اولویت اصلاحی اعضای پل‌های مختلف را شناسایی و اصلاحات بر روی آن انجام گیرد. همچنین مزیت ساختار ارائه شده در این تحقیق این است که می‌توان چندین پل را به طور همزمان مورد اصلاحات قرار داد. تفاوت این ساختار با ساختارهای ارایه شده پیشین در این بود که در مطالعات پیشین، با استفاده از رویکردتصمیم‌گیری‌های چندمعیاره مشخص می‌کردند که کدام پل در اولویت اصلاحی قرار دارد که این امر از ضعف‌های پیشین بوده که در این ساختار برطرف شده است.

۷- پی‌نوشت‌ها

1.Failure Mode and Effects Analysis
2.Henry Petroski
3.Engineers of Dreams
4.Adey
5.Johnson
6.Carrying capacity
7.Fuzzy Group Decision Making
8.Data envelopment analysis

9.Failure Mode and Effects Analysis
10. Risk Priority Number
11. Severity
12. Occurrence
13. Detect
14. Probability of Occurrence
15. Detection
16. Fuzzy Risk Priority Number

۸- مراجع

- آذر، ع. و فرجی، ح.، (۱۳۸۹)، "علم مدیریت فازی"، چاپ چهارم، تهران، مرکز مطالعات مدیریت و بهره‌وری در ایران.

- Abdelgawad, M., and Fayek, A.R., (2010), "Risk in the management construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP", Journal of Construction Engineering and Management, 136(9), pp.1028-1036, ASCE.

- Adey, B., Hajdin, R., and Bruhwiler, E., (2003), "Risk-based approach to determination of optimal interventions for bridges affected by multiple hazards", engineering structures, 25, pp. 903-912.

- Aktan, A.E., Helmicki, A.J., Hunt, V.J., (1996), Issues related to intelligent bridge monitoring Proceedings of Structures Congress XIV. Ghosh S.K., Mohammadi J., Editors. ASCE, 2, pp.750-7.

- Bahrami, M., Hadizadeh-Bazzaz, D., Sajjadi, M., (2012), "Innovation and Improvements in Project Implementation and Management; Using FMEA Technique", 41, pp. 418 – 425.

- Dunker, K.R. and Rabbet, B.G., (1993), "Why Americans bridges are crumbling", Scientific American Magazine, pp.66-72.

- Huang, Y. and Huang, H., (2012), "A model for concurrent maintenance of bridge elements", 21, pp.74-80.

- Johnson, P.A. and Niezgoda, S.L, (2004), "Risk-based method for selecting Bridge Scour counter measures", Journal of Hydrolic Engineering, 130(2), pp.121-128.

- JU, S.H., (2013), "Improvement of bridge structures to increase the safety of moving trains during earthquakes", Engineering Structure, 56, pp. 501–508.

- Kumru, M. and Kumru, P.Y., (2013), "Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital". Applied Soft Computing, 13(1), pp.721–733.

- Lounis, Z., (2004), "Risk-based maintenance optimization of bridge structure".

- McIntyre, D., (1997), "Weak bridges: the impact on freight movement". Proc. Conference on British Roads: National asset or national Disgrace, Sponsored by Surveyor Magazine and the Automobile Association.

- Petroski, H., (1995), "Engineers of Dreams", Allfred A. Knopf, NewYork.

- Pisani, M.A. and Ballio, F., (2010), "Feasibility analysis of a movable bridge compensating for clearance deficit during floods", 32, pp. 3338–3343.

- Rayal, M.J., (2006), "Bridge Management", 1st ed., Trans. Ministry of Roads and Transportation, Department of Education, Research, and Technology, Transportation Research Center.

- Wang, J., Shi, Z. and Nakano, M., (2013), "Strength degradation analysis of an aging RC girder bridge using FE crack analysis and simple capacity-evaluation equations", 108, pp. 209–221.

- Wang, Y.M. and Elhag, M.S., (2006), "Fuzzy-TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment". Expert Systems with Applications, 31(2), pp. 309-319.

- Wang, Y.M. and Elhag, M.S., (2007), "A Fuzzy Group Decision Making approach for bridge risk assessment", Computers & Industrial Engineering, 53, pp.137-148.

- Wang, Y.M. and Elhag, M.S., (2008), "An adaptive neuro-fuzzy inference system for bridge risk assessment". Expert Systems with Applications, 34(9), pp.3099-3106.

- Wang, Y.M., Liu, J. and Elhag, M.S., (2008), "An integrated AHP-DEA methodology for bridge risk assessment", Computers &Industrial Engineering. 53, pp. 513-525.

Evaluation of Babolsar City Bridges in Utilization Case from Risk Taking Point of View Seismically by Using FMEA-FUZZY Method

Gh. Abdollahzadeh, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.
F.R. Haghighi, Assisstant Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.
M. J. Taheri Amiri, Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.
S. Rastgoo, M.Sc., Grad., Tabari University of Babol, Babol, Iran.

E-mail: Abdollahzadeh@nit.ac.ir
Received: June 2016-Accepted: September Nov.

ABSTRACT
Bridges with each structural shape and with every kind of materials that are made, soon or late, fatigue effects are appeared in them, among kind and rate of these fatigues and their expansion trend, numerous factors are effective such as climate situation, flood or earthquake occurrence, load increase more than design rate, design qualification and performance and kind of materials. If each of these factors are not considered leads to decrease of useful life in structure. In this research after doing investigations by using FMEA-FUZZY method, it became clear that earthquake is known as the main and the most effective factor of bridges ruin in utilization case. For this reason, imposed earthquake on Babolsar bridges was strictly investigated and after bridges modeling in SAP software, probability of ruination in each structural element of bridges was calculated. Then, by using FMEA-FUZZY method, rate of risk in each bridge against earthquake becomes clear. Difference of presented procedure in this research with previous research is that by using this procedure it is possible to correct the situation of all bridges by budget similar to previous cases. And reaching to relatively proper case, while in previous researches, by using multi-criterion decision making method, we only selected a bridge as a critical bridge that was in most critical case and all budget was spend first for this bridge and then was spend for other bridges. The results show that each of bridges in which parameters has debility. So, it is necessary to do all schemes for resisting these bridges against earthquake and to prevent from probable difficulties, caused by earthquake on these bridges. Finally the result show that steel legs buckling at the first bridge and the second is necessary for reform.

Keywords: Risk Preference Number, FUZZY Logic, FMEA, Earthquake, Babolsar Bridges