

## ارزیابی عوامل موثر بر مدیریت پل‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

### مقاله علمی - پژوهشی

محمد هادی مسعود، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

مهران غلامی\*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: M.gholami@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱

صفحه ۱۰-۱

### چکیده

پل‌ها از عناصر کلیدی حمل و نقل زمینی می‌باشند و با توجه به تعداد زیاد و هزینه‌هایی که برای ساخت آنها صرف شده است، تعمیر و نگهداری از این سرمایه‌های عظیم اهمیت فراوانی دارد. به دلیل محدودیت منابع مالی انتخاب و اولویت بندی پل‌ها برای تعمیر و نگهداری دارای پیچیدگی‌های خاصی است. به همین دلیل امروزه در دنیا با بکارگیری نرم افزارهای سیستم مدیریت پل به روند تعمیر و نگهداری پل‌ها سرعت و دقت می‌بخشند. در این مطالعه با بکارگیری روش سیستم تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) در ابتدا معیارها و پارامترهای تاثیرگذار بر مدیریت پل تعیین و سپس بر اساس نظر خبرگان اهمیت پارامترهای مذکور مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نهایتاً نتیجه‌گیری شد که "طراحی اصولی بر اساس آیین نامه‌ها"، "کیفیت مصالح مصرفی" و "کیفیت و دقت در ساخت پل" به عنوان مهمترین معیارهایی هستند که باید قبل از شروع به بهره برداری پل به آنها توجه شود. همچنین پارامترهای تاثیرگذار در نرم افزار سیستم مدیریت پل عبارتند از "ایمنی کاربران"، "نوع، تعداد و شدت آسیب‌ها و خرابی‌ها" و "میزان هزینه تعمیر و نگهداری". بدین ترتیب معیارها و پارامترهای مورد نظر با توجه به اولویت تعیین شده می‌توانند در مدل‌های اولویت بندی و تخصیص بودجه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم مدیریت پل، تحلیل سلسله مراتبی، نگهداری پل

### ۱-مقدمه

باقی بمانند و هر شکل سازه‌ای که به کار رود و هر مصالحی که استفاده شود، دیر یا زود آثار فرسودگی در آن ظاهر می‌شود. عوامل زیادی مانند شکل سازه، مصالح ساختمانی، کیفیت ساخت، طراحی، اجرا، شرایط جوی، آبستگي، حرارت، خستگي، زلزله، سیلاب، بارهای عبوری وارده وجود دارد که در چگونگی و میزان فرسودگی و زوال پل مؤثرند. تا قبل از دهه ۷۰ قرن نوزدهم غالباً هنگام ساختن پل‌ها بدون توجه به هزینه نگهداری، ارزان‌ترین مصالح را انتخاب می‌کردند. پل‌های چوبی اولیه، پس از مدتی کاملاً از بین رفتند؛ اما انواع بسیاری از آنها که از مصالحی چون چدن، آهن معمولی، فولاد، ترکیب بتن و فولاد، بتن مسلح و بتن پیش‌تنیده ساخته شده بودند، باقی ماندند (پلداشخان و شمالی، ۱۳۸۵). بدین ترتیب اهمیت

پل‌ها از پرهزینه‌ترین و راهبردی‌ترین عناصر حمل و نقل در راه و راه‌آهن محسوب می‌شوند که با عبور از موانع طبیعی و مصنوعی احداث شده و مانند هر سازه‌ی دیگر و شاید بیش از بسیاری از آنها تحت تأثیر محیط قرار دارند و حتی با فرض طراحی صحیح و اجرای دقیق، عوامل بسیاری در دوام و سلامت آنها مؤثر است. از آنجا که پل‌ها جزء سازه‌های پرهزینه و حساس محسوب می‌شوند، کوتاهی در نگهداری آنها در دوران بهره‌برداری، اثرات مخربی به دنبال خواهد داشت. به این ترتیب، تشخیص آسیب‌ها و بازرسی‌های مرتب و برنامه‌ریزی شده پل‌ها، برای پیشگیری از خرابی‌های جدی و خطرآفرین و همچنین جلوگیری از صرف هزینه‌های گزاف جبران این خرابی‌ها، بسیار ضروری است. پل‌ها نمی‌توانند برای همیشه

گردید که هدف آن کمینه نمودن هزینه مورد انتظار برای تعمیر و نگهداری بود، در حالی که قابلیت اطمینان طول عمر هر پل، بالاتر از سطح قابل قبول (هدف) نگهداشته شود.

مطالعه دیگری در این زمینه در خصوص بررسی وضعیت فعلی نگهداری و تعمیر پل، سیستم مدیریت پل و سیستم مدیریت دارایی انجام شد (Furuta, Kayano, Watanabe, 2007). در این مطالعه طرح کلی سیستم مدیریت پل و نقایص و مشکلاتی که در آن وجود دارد نشان داده شد و سپس چند پیشنهاد عملی به منظور توسعه سیستم مدیریت دارایی برای تحقق بخشیدن به برنامه‌های تعمیر و نگهداری منطقی و اقتصادی ارائه گردید. در همان سال در پژوهشی دیگر یک الگوریتم برای سیستم مدیریت پل جهت اولویت‌بندی فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در سطح شبکه پیشنهاد گردید (Lee, Kim, 2007). در این پژوهش مجموعه‌ای از فعالیت‌های تعمیر و نگهداری به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه مدل شد و از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده گردید.

سپس در مقایسه با چند مطالعه موردی، امکان‌پذیر بودن روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. شاخصی یکپارچه برای اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری پل‌ها تحت عنوان شاخص یکپارچه پل توسط (Valenzuela, de Solminihac, Echaveguren, 2010) پیشنهاد گردید. این شاخص بر مبنای نیازها توسعه داده شد تا بتواند کمکی به اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با تعمیر و نگهداری و بازسازی پل‌ها کند. شاخص مذکور مشکلات سازه‌ای، آسیب‌پذیری‌های هیدرولیکی، خطرات لرزه‌ای و اهمیت استراتژیک پل را می‌سنجد. این شاخص از طریق بازرسی چشمی، بررسی کارشناسان و تجزیه و تحلیل رگرسیون محاسبه شده و سپس اولویت‌بندی پل‌ها صورت می‌پذیرد که برای تمام این اقدامات یک نرم‌افزار توسعه داده شده است. در مطالعه‌ای دیگر روش ساده‌ای برای ارزیابی شرایط پل بوسیله بازرسی چشمی معرفی شد (Pellegrino, Pipinato, Modena, 2015). این روش برای حدود ۲۰۰ پل و آبرو در شما شرقی ایتالیا صورت پذیرفته و بصورت مفصل به جزئیات آن پرداخته شده است. نتایج نشان از عملکرد مناسب این روش در ارزیابی اولیه پلها دارد بطوریکه اطلاعاتی کلی از شرایط موجود پل و نیز عناصر اصلی ارائه می‌دهد. همچنین این روش می‌تواند به عنوان گام ابتدایی در ارزیابی و تشخیص آسیب‌ها برای یک سیستم مدیریت پل بکار گرفته شود. در پژوهشی دیگر در ژاپن

بکارگیری روش‌های منطقی و سیستماتیک در مدیریت نگهداری آنها به منظور حفظ ایمنی استفاده‌کنندگان و جلوگیری از هدر رفتن سرمایه‌های کشور نمایان می‌شود. مهم‌ترین هدف سیستم‌های مدیریت پل، گردآوری تمامی داده‌ها و فعالیت‌های مرتبط با نگهداری و تعمیر پل‌ها است، به طریقی که تخصیص منابع با شیوه بهینه انجام شود و منافع حاصل در شبکه پل‌ها به حداکثر مقدار ممکن برسد. سیستمی که برای بهینه‌سازی استفاده از منابع موجود جهت بازرسی، نگهداری، بازسازی و تعویض پل‌ها طراحی شده‌است، سیستم مدیریت پل نامیده می‌شود. سیستم‌های مدیریت پل در مراحل مختلفی از رشد می‌باشند. اما بطور کلی هر سیستم مدیریت پل شامل چهار جزء اساسی پایگاه داده موجودی، پایگاه داده نگهداری، مدل‌های هزینه و مدل‌های خرابی می‌باشد (Tonias, Zoha 1995).

مدیریت پل ابزاری است که توسط آن، پل از زمان ساخت تا پایان عمر مفید تحت مراقبت قرار می‌گیرد. این امر در کشورهای توسعه‌یافته از سال‌ها پیش مورد توجه قرار گرفته است، به طوری‌که امروزه به عنوان یک زیر سیستم در مدیریت دارایی‌ها از آن بهره می‌گیرند. مدیریت پل موضوعی چالش برانگیز است که همواره در تمام طول عمر پل مورد نیاز خواهد بود. در دوران اولیه پل‌سازی، توجه چندانی به تضمین پایداری پل وجود نداشت و تصور می‌شد پل‌های ساخته‌شده برای مدت زمانی طولانی همچنان پایدار خواهند ماند. تجربه نشان داده است که هیچ پلی برای همیشه بی عیب باقی نمی‌ماند و برای اینکه در طول عمر اسمی خود و یا بیش از آن، عملکرد مناسبی داشته باشد به یک مدیریت صحیح نیاز دارد. مدیریتی که هم پیشگیری‌کننده و هم اصلاح‌کننده باشد. در این زمینه طی دو دهه اخیر تحقیقات متعددی در دنیا و ایران انجام شده است. یک نمونه آزمایشی از یک سیستم هوشمند برای مدیریت پل‌های بتنی پیشنهاد شد (De Brito, Branco, Thoft-Christensen, 1997). این سیستم شامل دو سطح بازرسی پل و کسب اطلاعات میدانی و بهینه‌سازی استراتژی‌های مدیریت و اولویت‌های تعمیر و نگهداری بر اساس سه معیار تصمیم‌گیری فوریت بازسازی، اهمیت سازه و حجم ترافیک بود. اما این برنامه به آسیب‌های مربوط به اضمحلال بتن محدود می‌شد. سپس روش دیگری برای تعیین برنامه بازرسی و تعمیر بهینه پل‌های جدید و موجود بر اساس حداقل هزینه مورد انتظار ارائه گردید (Enright, Frangopol, 1999). بر این اساس چارچوبی برای برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری بهینه پل در سطح شبکه ارائه

نداشته و اگر تلاش‌هایی هم جهت تصویب دستورالعمل‌های مربوطه انجام شده، نیازمند ارزیابی بیشتر جهت پیاده‌سازی آن‌ها به عنوان یک دستورالعمل الزام‌آور است.

در مطالعه دیگری که توسط (صائمی و خزایی، ۱۳۹۵) صورت پذیرفت یک الگو جهت مدیریت کیفیت در پروژه‌های پلسازی به منظور برنامه ریزی صحیح در استفاده از منابع و زمان و جلوگیری از هزینه‌ها ارائه شد. الگوی مذکور برای مدیریت کیفیت پل غیر همسطح تقاطع شیخ فضل ... نوری و جناح در تهران مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان از عملکرد مطلوب آن داشت.

مطالعه‌ای توسط (قره، بینا، فرشته پور، ۱۳۹۸) انجام گردید که هدف از آن اولویت بندی و بازسازی پلهای بتنی با اهمیت واقع در راه‌های اصلی استان خراسان جنوبی بود.

در این تحقیق ۵۲ پل بتنی با طول بیش از ۱۵ متر در نقاط مختلف استان تحت بازدید و بررسی قرار گرفت و پس از وزن دهی معیارهای خرابی بر اساس نظر کارشناسان خبره با روش تحلیل سلسله مراتبی، پل‌های نیازمند ترمیم و بازسازی اولویت بندی گردید. نتایج نشان داد که مهمترین معیار در زمینه اولویت بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی معیار ویژگی‌های عمومی ساختمان پل است. همچنین معیار اهمیت پل دارای بیشترین حساسیت نسبت به سایر معیارها است.

در سیستم‌های مدیریت پل، وضعیت پل‌های موجود از لحاظ کیفی و سازه‌ای با استفاده از مدل‌های ریاضی مشخص شده و سپس با تعیین ضریب اولویت، بودجه موجود به تناسب به پل‌ها تخصیص داده می‌شود. با استفاده از مدل‌های اضمحلال می‌توان روند کاهش ظرفیت بهره‌برداری هر پل را در طول زمان مطالعه نمود و تأثیر انجام اقدامات تعمیراتی را در مقاطع مختلف زمانی بررسی نمود. بسیاری از پل‌ها، نه تنها در ایران بلکه در سراسر جهان، بیش از پنجاه سال عمر دارند و مسئله‌ی بازرسی و نگهداری پل‌ها در زمان ساخت هنوز مبحثی نوپاست، بنابراین، نگهداری این پل‌ها در اولین سال‌های ساخت آن‌ها مورد توجه جدی قرار نگرفته‌است و پل‌ها آسیب‌های جدی متحمل شده‌اند و نگهداری کنونی آن‌ها نیاز به تعمیرات اساسی و مقاوم‌سازی دارد که بسیار هزینه‌بر است (جغتایی و علیخانی، ۱۳۸۹)

در مطالعه حاضر به اهمیت مدیریت و نگهداری پل‌ها پرداخته شده و ارزیابی عوامل و پارامترهای تأثیرگذار بر روش‌های مدیریت بهره‌برداری از پل‌ها با استفاده از تکنیک‌های سلسله مراتبی بررسی شده است.

انجام شد که در آن به یک سیستم جدید مدیریت پل پرداخته شده است (Miyamoto, Motoshita, 2015). این سیستم که به یک سامانه تخصصی ارزیابی متصل شده، قادر به بررسی و ارائه پیشنهاد بهینه جهت بهسازی پل‌های بتنی است، بطوریکه با کمترین هزینه، بهترین گزینه تعمیر و نگهداری انتخاب می‌شود. سیستم مذکور برای چندین پل بکارگرفته شده که نتایج نشان دهنده عملکرد مطلوب آن می‌باشد. در پژوهشی که توسط (Suthanaya, Artamana, 2017) در اندونزی انجام شد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارهای اولویت بندی و نگهداری پل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عواملی همچون شرایط فعلی پل، بودجه مورد نیاز، حجم ترافیک عبوری و سابقه نگهداری پل از جمله پارامترهایی بودند که دارای بیشترین تأثیر را در اولویت بندی بهسازی پل داشتند.

در مطالعه دیگری که توسط (Rashidi, Ghodrat, Samali, 2017) صورت پذیرفت مدلی به روش سلسله مراتبی توسعه داده شد تا در تصمیم‌گیری و اولویت بندی به سیستم مدیریت پل کمک نماید.

این مدل به عنوان ابزار یادگیری برای مهندسين بازرسی پل نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد. در این مطالعه عواملی همچون عمر مفید، ایمنی، هزینه، اثرات زیست محیطی، انسداد ترافیکی در نظر گرفته شدند. همچنین روش‌های ترمیم سازه نظیر استفاده از ورقه‌های فولادی، ورقه‌های پلیمری، جایگزینی المانها به عنوان پارامترهای تأثیرگذار در بهسازی پل تعیین شدند. سپس با استفاده از روش سلسله مراتبی (AHP) وزن و اهمیت هر یک محاسبه و تعیین گردید. نتایج نشان داد که ایمنی سازه و میزان هزینه به عنوان تأثیرگذارترین عوامل تعیین شدند. در ایران (نصر آزادانی، اشتهاردیان و بشیری راد، ۱۳۸۸) با نگاهی متفاوت به مقوله نگهداری و تعمیر، در مطالعه‌ای به بررسی برخی از پروژه‌های نگهداری و تعمیر پل‌های شهر تهران و مشکلات موجود بر سر راه اقدامات نگهداری و تعمیر پل‌ها پرداختند. همچنین (Gholami, Sam, Yatim, 2013) به بررسی و ارزیابی سیستم مدیریت پل در ایران پرداختند. در این مطالعه، پیاده سازی سیستم مدیریت پل (BMS) در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت برخی از استراتژی‌های عملی برای حل مشکلات موجود و راه‌اندازی این سیستم مدیریت پل ارائه شده است. سپس نتیجه گیری شد که در زمان انجام مطالعه هیچگونه چارچوب نظام‌مند و یا مقررات تصویب شده‌ای برای موضوع نگهداری پل‌ها وجود

این موضوع و اولویت دهی به آن توجه شود. طراحی پل باید به گونه‌ای باشد که به کاربران پل آسیبی وارد نشود در غیر اینصورت صدمات سنگین و گاهاً جبران ناپذیری رخ خواهد داد. نوع و شدت آسیبها در اولویت بندی تعمیر و نگهداری پل‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است و میزان هزینه‌های تعمیر و نگهداری به عنوان عامل و تعیین کننده شناسایی شده است.

### ۳- تحلیل سلسله مراتبی

در این روش ۸ معیار مطرح شده و پاسخ‌های داده شده در نرم افزار وارد شده و سپس خروجی نهایی همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، به صورت میانگین به دست آمده است.

جدول ۱. معیارهای تاثیر گذار در مدیریت پل

ردیف	معیارهای تاثیر گذار در مدیریت پل
۱	طراحی اصولی پل مطابق آیین نامه
۲	کیفیت مصالح مصرفی
۳	کیفیت و دقت در ساخت پل
۴	انجام بازرسی‌های منظم
۵	استفاده از بازرسی متخصص و باتجربه
۶	بکارگیری لوازم و تجهیزات مناسب در بازرسی و نگهداری
۷	انجام عملیات تعمیر و نگهداری به موقع
۸	بکارگیری نرم افزار مناسب سیستم مدیریت پل

جدول ۲. پارامترهای موثر در تصمیم گیری و اولویت بندی توسط

#### سیستم مدیریت پل (BMS)

ردیف	پارامترهای موثر در تصمیم گیری و اولویت بندی توسط سیستم مدیریت پل
۱	نوع، تعداد و شدت آسیبها و خرابی‌ها
۲	میزان هزینه تعمیر و نگهداری
۳	اهمیت پل از نظر نوع مسیر و حجم ترافیک عبوری
۴	اهمیت پل از نظر ابعاد و نوع سازه
۵	عمر مفید باقی مانده پل
۶	ایمنی کاربران پل
۷	وجود مسیرهای جایگزین در صورت انسداد پل
۸	مدت زمان انسداد پل جهت تعمیر و نگهداری

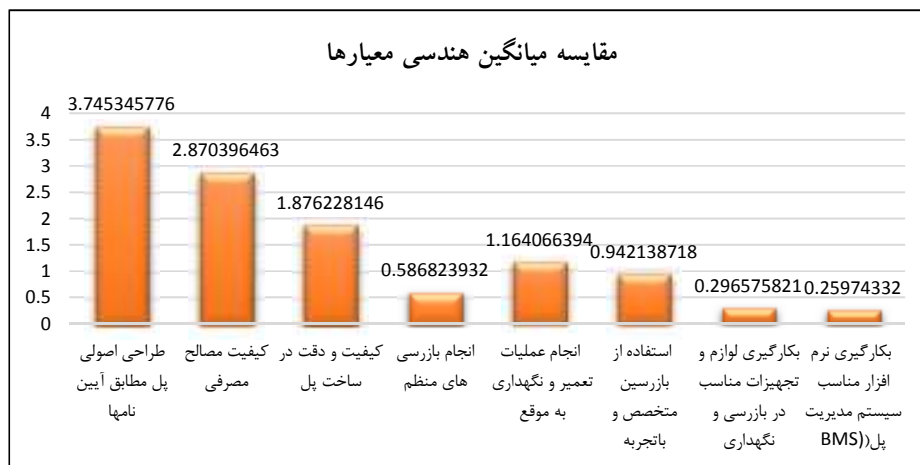
### ۲- معیارهای تاثیرگذار بر مدیریت پل

هدف از این تحقیق بررسی و ارزیابی روش‌های مدیریت بهره برداری پل‌ها است. بنابراین، لازم است میزان اهمیت معیارهای تاثیرگذار بر مدیریت پل در طول دوره بهره‌برداری شناسایی شود تا با شناسایی آن‌ها موثرترین روش انتخاب گردد. روش به کار گرفته شده در این تحقیق، روش تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. تکنیک جمع‌آوری اطلاعات در تحلیل سلسله مراتبی استفاده از پرسش‌نامه است که توسط افراد خبره و با تجربه تکمیل گردیده تا در نهایت با استفاده از تحلیل انجام شده مناسب‌ترین روش برای مدیریت بهره‌برداری پل‌ها انتخاب گردد.

جهت بررسی اولویت‌ها و تعیین اهمیت گزینه‌ها لازم است تا دو دسته "معیارهای تاثیرگذار در مدیریت پل" مطابق جدول ۱ و "پارامترهای موثر در تصمیم گیری و اولویت‌بندی توسط سیستم مدیریت پل" مطابق جدول ۲ برای ارزیابی روند کار طراحی شوند. این معیارها و پارامترها توسط خبرگان و با مطالعه منابع تهیه گردید. در ابتدا گزینه‌های طراحی شده، بر اساس مقیاس لیکرت (۵ گزینه‌ی: تاثیر زیاد - تاثیر خوب - تاثیر متوسط - تاثیر کم - تاثیر خیلی کم) مورد بررسی قرار گرفتند.

جهت تحلیل نتایج سوالات لیکرت، از نرم افزار spss استفاده شده تا ضمن بررسی روایی و پایایی داده‌ها، میزان تاثیر معیارها و پارامترهای تعیین شده مشخص شوند. پس از آن بررسی و قابل قبول بودن معیارها و پارامترها، به شیوه تحلیل سلسله مراتبی برای دو دسته به صورت جداگانه پرداخته شد. جهت تکمیل پرسشنامه‌های تهیه شده بر اساس روش مقایسه زوجی در روش AHP، از دو گروه خبره "بازرس فنی پل" و "مهندس طراح پل" استفاده شده است.

آنچه از تحلیل بالا بدست می‌آید آن است که در مدیریت پل، طراحی اصولی پل مطابق با آیین نامه می‌بایست به شدت رعایت شود. فرایند تعمیر و نگهداری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است و برای این کار می‌بایست از بازرسی متخصص استفاده کرد. در نهایت اینکه بکارگیری نرم افزار سیستم مدیریت پل با وجود جدید بودن، مقبولیت خوبی دارد. بعلاوه در تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی توسط سیستم مدیریت پل، ایمنی کاربران از اهمیت بالایی برخوردار است و باید به



شکل ۱. نمودار مقایسه میانگین هندسی معیارها

جدول ۴. اولویت بندی و وزن نسبی معیارها

رتبه	وزن نسبی	معیار
۱	۰/۳۱۸۹	طراحی اصولی پل مطابق آیین نامه
۲	۰/۲۴۴۴	کیفیت مصالح مصرفی
۳	۰/۱۵۹۷	کیفیت و دقت در ساخت پل
۴	۰/۰۴۹۹	انجام بازرسی های منظم
۵	۰/۰۹۹۱	انجام عملیات تعمیر و نگهداری به موقع
۶	۰/۰۸۰۲	استفاده از بازرسین متخصص و باتجربه
۷	۰/۰۲۵۲	بکارگیری لوازم و تجهیزات مناسب در بازرسی و نگهداری
۸	۰/۰۲۲۱	بکارگیری نرم افزار مناسب سیستم مدیریت پل

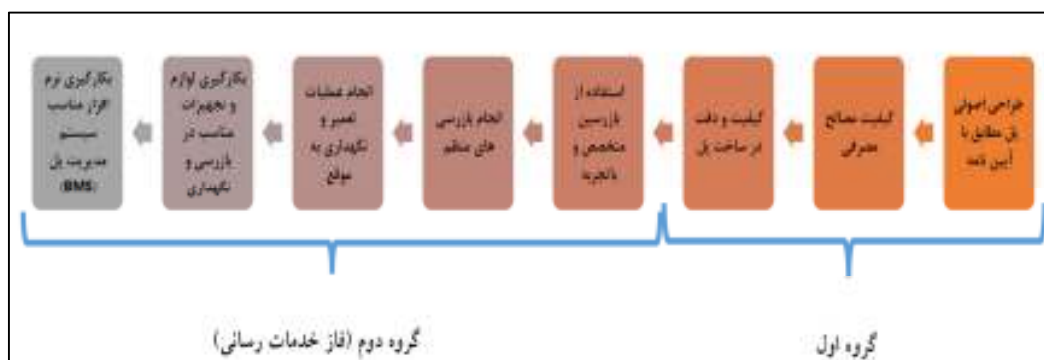
محسوب می‌شود. جهت تعمیر و نگهداری پل‌ها به انجام بازرسی‌های منظم توسط بازرسین متخصص و با تجربه نیاز می‌باشد. این بازرسی‌ها می‌بایست در زمان‌های تعیین شده و به طور مرتب و دوره‌ای انجام شود. چک لیست‌ها به درستی تکمیل گردد و گزارش کارها دقیق نوشته و در نهایت بررسی و ارزیابی شوند. انجام بازرسی‌های دوره‌ای به تجهیزات و لوازم مناسب نیاز دارد. فاز خدمات رسانی جهت تعمیر و نگهداری دربرگیرنده آیتمهای بازرسی‌های منظم، وجود متخصصین با تجربه، عملیات تعمیر و نگهداری به موقع و به کارگیری تجهیزات و لوازم مناسب در بازرسی و نگهداری است. بر اساس تحلیل‌ها و مقایسه داده‌ها میزان اهمیت معیارها در این دسته بر اساس وزن نسبی آنها در شکل ۲ آورده شده است. به این ترتیب عملیات نگهداری تاثیر زیادی بر مدیریت و حفظ پل دارد. ضمن آنکه می‌بایست برای انجام بازرسی‌ها

با توجه به نتایج و تحلیل پرسشنامه‌های مرتبط با معیارهای تاثیرگذار در مدیریت پل می‌توان اینگونه بیان کرد که در مدیریت پل معیارهای تاثیرگذار به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول مرتبط با طراحی و اجرای پل هستند که شامل طراحی اصولی پل مطابق آیین نامه، کیفیت مصالح مصرفی، کیفیت و دقت در ساخت پل می‌باشند. طبق تحلیل انجام شده وزن نسبی "طراحی اصولی پل مطابق آیین نامه" برابر با ۰/۳۱۸۹ می‌باشد. به عبارتی امن‌ترین و با دوام‌ترین پل‌ها آنهایی هستند که کاملاً مطابق آیین نامه طراحی شده‌اند. همچنین "کیفیت مصالح مصرفی" با وزن نسبی ۰/۲۴۴۴ و "کیفیت و دقت در ساخت پل" نیز با وزن نسبی ۰/۱۵۹۷ در درجه بعدی اهمیت قرار دارند.

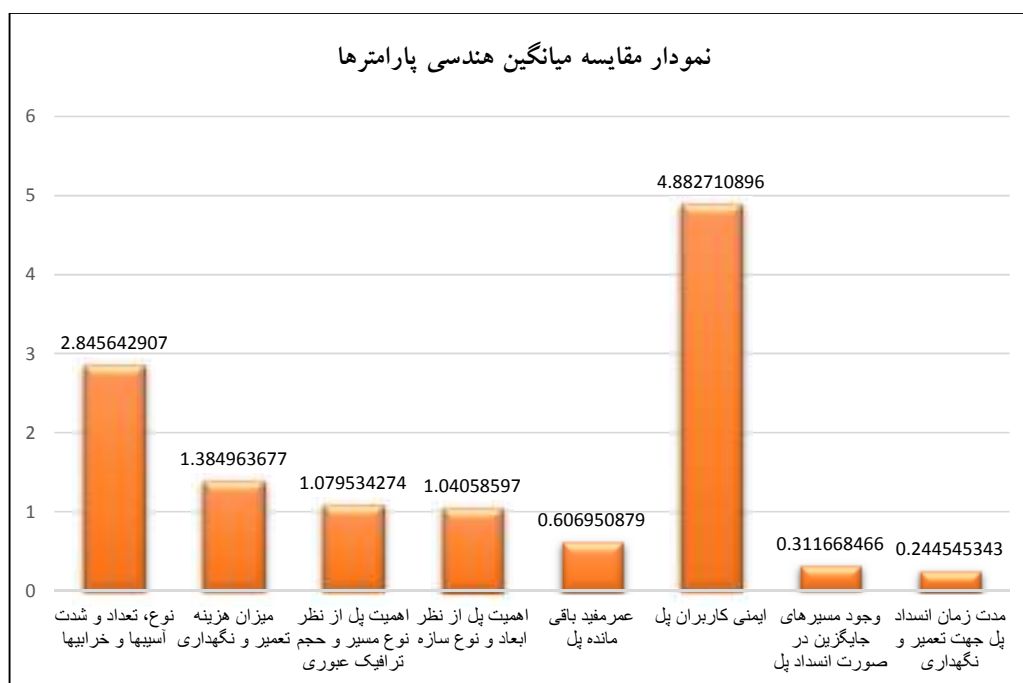
گروه دوم که در برگیرنده عوامل موثر بر تعمیر و نگهداری پل می‌باشند به عنوان فاز خدمات‌رسانی در چرخه حیات پل

دلیل به کارگیری سیستم مدیریت پل روش مناسبی جهت تعمیر و نگهداری پل‌ها و جلوگیری از بروز خرابی و مشکلات ناشی از خرابی پل‌ها می‌باشد. پس از آن خروجی نهایی نرم افزار به صورت میانگین محاسبه می‌گردد که در نمودار شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس نظر خبرگان پارامترهای مطرح شده که در تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی موثر هستند، به ترتیب اهمیت در نمودار ۴ آورده شده است.

از متخصصین با تجربه استفاده نمود تا این امر به صورت دقیق و اصولی انجام شود. به کارگیری سیستم نرم‌افزار مناسب سیستم مدیریت پل جهت بررسی و پایش شبکه از اهمیت بالایی برخوردار است و بدین ترتیب می‌توان به بانک اطلاعاتی شامل مختصات مکانی، اطلاعات شناسنامه‌ای پل، اطلاعات ساختاری آسیب‌ها و علل تعیین شاخص خرابی سازه‌ای، بهره برداری و اولویت بندی پل‌ها و غیره دست یافت. نکته حائز اهمیت آن که تصمیم‌گیری نه تنها بر اساس نیازهای یک پل بلکه بر اساس نیازهای کل شبکه صورت می‌گیرد و به همین



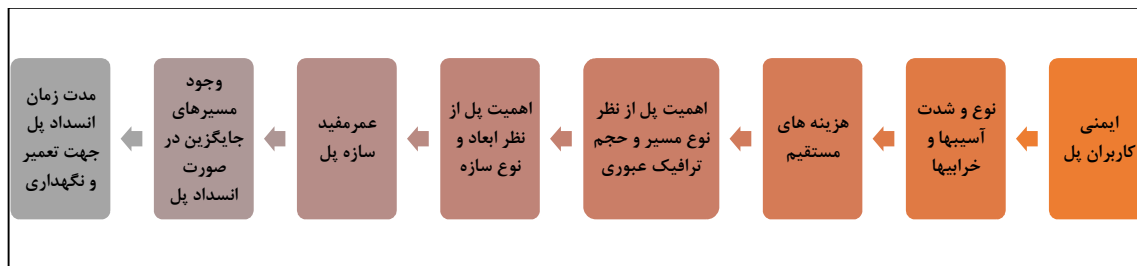
شکل ۲. میزان اهمیت معیارهای مدیریت پل



شکل ۳. نمودار مقایسه میانگین هندسی پارامترها

جدول ۴: اولویت‌بندی و وزن نسبی پارامترها

رتبه	وزن نسبی	معیار
۲	۰/۲۲۹۵	نوع، تعداد و شدت آسیبها و خرابی‌ها
۳	۰/۱۱۱۷	میزان هزینه تعمیر و نگهداری
۴	۰/۰۸۷۰	اهمیت پل از نظر نوع مسیر و حجم ترافیک عبوری
۵	۰/۰۸۳۹	اهمیت پل از نظر ابعاد و نوع سازه
۶	۰/۰۴۸۹	عمر مفید باقی مانده پل
۱	۰/۳۹۳۸	ایمنی کاربران پل
۷	۰/۰۲۵۱	وجود مسیرهای جایگزین در صورت انسداد پل
۸	۰/۰۱۹۱	مدت زمان انسداد پل جهت تعمیر و نگهداری



نمودار ۴: اولویت پارامترهای موثر بر تصمیم‌گیری سیستم BMS

## ۵- نتیجه‌گیری

شده‌اند. آنچه پس از ساخت پل از اهمیت بالایی برخوردار است، نگهداری از پل می‌باشد. به همین جهت در فاز خدماتی یعنی زمانی که پل مورد استفاده قرار گرفته است، ضروری است تا بازرسی‌های لازم و به موقع به صورت دوره‌ای انجام شود. در همین راستا، به کارگیری سیستم نرم‌افزار مناسب سیستم مدیریت پل جهت بررسی و مدیریت پل‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. نتیجه تحلیل پارامترهای موثر بر تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی توسط سیستم مدیریت پل نشان می‌دهد که ایمنی کاربران پل با وزن نسبی ۰/۳۹۳۸ و پس از آن نوع، تعداد و شدت آسیب‌ها و خرابی‌ها با وزن نسبی ۰/۲۲۹۵ و میزان هزینه تعمیر و نگهداری با وزن نسبی ۰/۱۱۱۷ بیشترین تاثیرگذاری را دارند. تشخیص علل آسیب‌ها و انجام عملیات مناسب نگهداری پل‌ها پس از بازرسی‌های منظم توسط افراد متخصص و با تجربه نقش مهمی در عملکرد صحیح سیستم مدیریت پل دارد.

توجه نکردن به موقع به خرابی‌ها علاوه بر کاهش سطح بهره‌برداری و عمر مفید سازه، سبب افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خواهند شد. این مسئله اهمیت به کارگیری روش‌های منطقی و سیستماتیک در مدیریت نگهداری پل‌ها به منظور حفظ ایمنی استفاده‌کنندگان از پل و جلوگیری از هدر رفتن سرمایه‌های کشور را نمایان می‌سازد. در مطالعه حاضر با استفاده از روش سلسله مراتبی به ارزیابی روش‌های مدیریت نگهداری پل‌ها و معیارهای تاثیرگذار در آن پرداخته شده است. بر اساس تحلیل انجام شده "طراحی اصولی و درست پل بر اساس آیین‌نامه‌های موجود" با وزن نسبی برابر با ۰/۳۱۸۹ به عنوان مهمترین معیار تاثیرگذار تعیین شد. کیفیت مصالح مصرفی با وزن ۰/۲۴۴۴ و دقت در ساخت پل با وزن نسبی ۰/۱۵۹۷ در درجه بعدی اهمیت قرار دارند. به عبارتی مرحله ساخت در دوره عمر سازه بسیار حساس می‌باشد و با دوام‌ترین پل‌ها آنهایی هستند که به درستی طراحی و اجرا

## ۶- مراجع

- Lee, C. K., & Kim, S. K., (2007), "GA-based algorithm for selecting optimal repair and rehabilitation methods for reinforced concrete (RC) bridge decks", *Automation in construction*, 16(2), pp.153-164.
- Miyamoto, A., & Motoshita, M., (2015), "Development and practical application of a bridge management system (J-BMS) in Japan", *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 48(1), pp.189-216.
- Pellegrino, C., Pipinato, A., & Modena, C., (2011), "A simplified management procedure for bridge network maintenance", *Structure and Infrastructure Engineering*, 7(5), pp.341-351.
- Rashidi, M., Ghodrati, M., Samali, B., Kendall, B., & Zhang, C., (2017), "Remedial modelling of steel bridges through application of analytical hierarchy process (AHP)", *Applied Sciences*, 7(2), pp.168.
- Suthanaya, P. A., & Artamana, I. B., (2017), "Multi-criteria Approach for Prioritizing Bridge Maintenance in Developing Country (Case Study of Bali Province, Indonesia)", *Asian Journal of Applied Sciences (ISSN: 2321-0893)*, 5(02).
- Tonias, D. E., & Zhao, J. J., (1995), "Bridge engineering: design, rehabilitation, and maintenance of modern highway bridges", McGraw-Hill.
- Valenzuela, S., de Solminihac, H., & Echaveguren, T., (2010), "Proposal of an integrated index for prioritization of bridge maintenance", *Journal of Bridge Engineering*, 15(3), pp.337-343.
- جغتایی، ع.ر. و علیخانی، ا.، (۱۳۸۹)، "نگهداری پل‌ها بر اساس آشتو وسایر منابع"، چاپ اول، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
- صائمی، ح. و خزایی، ص.، (۱۳۹۵)، "ارایه الگوی مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی"، نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی، تهران.
- قره، س.، بینا، ک. و فرشته‌پور، ا.، (۱۳۹۸)، "اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی شبکه راه های استان خراسان رضوی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی"، نشریه مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶.
- نصر آزادانی، س.م.، اشتیاردیان، ا. و بشیری راد، ف.، (۱۳۸۸)، "ارتقای توان تعمیر و نگهداری پل‌ها با اولویت‌بندی مشکلات موجود"، اولین همایش ارتقای توان داخلی با رویکرد ساخت داخل، تهران، مرکز مطالعات تکنولوژی، دانشگاه صنعتی شریف.
- یلداشخان، م. و شمالی، آ.، (۱۳۸۵)، "مدیریت پل"، وزارت راه و شهرسازی، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل.
- De Brito, J., Branco, F. A., Thoft-Christensen, P., & Sørensen, J. D., (1997), "An expert system for concrete bridge management", *Engineering Structures*, 19(7), pp.519-526
- Enright, M. P., & Frangopol, D. M., (1999), "Maintenance planning for deteriorating concrete bridges", *Journal of Structural Engineering*, 125(12), pp.1407-1414.
- Furuta, H., Kayano, M., & Watanabe, E., (2007), "Current status and future issues on bridge maintenance and bridge management system", *J Jpn Soc Civ Eng F*, 63(3), pp.287-294.
- Gholami, M., Sam, A. R. B. M., & Yatim, J. M., (2013), "Assessment of bridge management system in Iran", *Procedia Engineering*, 54, pp.573-583.



## **Evaluation of Factors Affecting Bridge Management Using Hierarchical Analysis (AHP)**

*Mohamad Hadi Massoud, M.Sc., Grad., Department of Engineering, Pardis Branch, Azad University, Pardis Branch, Tehran, Iran.*

*Mehran Gholami, Assistant Professor, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

*E-mail: M.gholami@bhrc.ac.ir*

Received: November 2021- Accepted: July 2022

### **ABSTRACT**

Bridges are the key element of land transportation and due to the large number and cost of construction, the maintenance of these huge assets is very important. As the financial resources are usually limited, selecting and prioritizing bridges for maintenance is complicated. Therefore, by using bridge management system (BMS) software, bridge maintenance is done more quickly and accurately. In this study, using the Hierarchical Analytical System (AHP) method, first the criteria and parameters affecting the management of the bridge have been determined and then the importance of the mentioned parameters has been studied and analyzed based on the opinion of experts. Finally, it has been concluded that "design according to codes and regulations", "quality of materials" and "quality and accuracy of construction" are the most important criteria that must be considered before starting the operation of the bridge. Furthermore, effective parameters in bridge management system software are "user safety", "type, number and severity of defects" and "maintenance costs". Thus, the desired criteria and parameters according to the priority can be used in prioritization models and budget allocation.

**Keywords:** Bridge Management System, Hierarchical Analysis, Bridge Maintenance