

## بررسی سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری پل های بتنی

غلامعلی شفا بخش، استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سمنان

[ghshafabakhsh@smnan.ac.ir](mailto:ghshafabakhsh@smnan.ac.ir)

یاسر بوداگی، دانشجوی کارشناسی ارشد عمران\_دانشگاه سمنان

[Kia\\_ybm@yahoo.com](mailto:Kia_ybm@yahoo.com)

### چکیده:

پل ها از عناصر کلیدی بزرگراه ها هستند و احداث آنها نسبت به بقیه ی اجزای راه، بسیار پرهزینه است و به علت وضعیت خاص سازه ای، از آسیب پذیرترین عناصر راه به شمار می آیند. پل ها به طور طبیعی با گذشت زمان دچار فرسودگی و آسیب دیدگی می شوند و تعمیر و بازسازی آنها نیز نیاز به بودجه هایی سنگین دارد. معمولاً مسئولان تعمیر و نگهداری پل ها با مشکل کمبود بودجه و نیز تخصیص بهینه ی آن مواجه هستند و از سوی دیگر، هر چه تعمیر و بازسازی پل ها به تعویق افتد، وضعیت پل ها بحرانی تر و هزینه ی تعمیر آن بیشتر خواهد شد. در کشورهای پیشرفته، برای حل این مشکل، از سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری پل، (BMS(Bridge Management System) استفاده می شود. در این سیستم مدیریت، وضعیت پل های موجود از لحاظ کیفی و سازه ای با استفاده از مدل های ریاضی مشخص می شود و سپس با تعیین ضریب اولویت تعمیر پل، بودجه موجود به تناسب به پل ها تخصیص داده می شود. با استفاده از این مدل ها همچنین می توان روند کاهش ظرفیت بهره برداری هر پل را در طول زمان مطالعه کرد و تأثیر اقدامات تعمیراتی را در مقاطع مختلف زمانی بررسی نمود.

در این مقاله با استفاده از برنامه ی نرم افزاری بسط داده شده، تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد کیفی پل های بتنی بررسی شده است.

**کلید واژه ها:** سیستم مدیریت، تعمیر و نگهداری، پل بتنی

## مقدمه:

در چند دهه ی اخیر تخریب پل های بتنی تبدیل به موضوعی مهم و قابل توجه شده است. این گونه تخریب ها به دلایل مختلفی همچون افزایش سن پل، افزایش بار ترافیک روی پل، ساخت و اجرای ضعیف، خوردگی آرماتورها، نفوذ عوامل مهاجم شیمیایی (همچون یون کلرید و دی اکسید کربن) و یا کاربرد نمک های ضد یخ روی می دهند. [1]

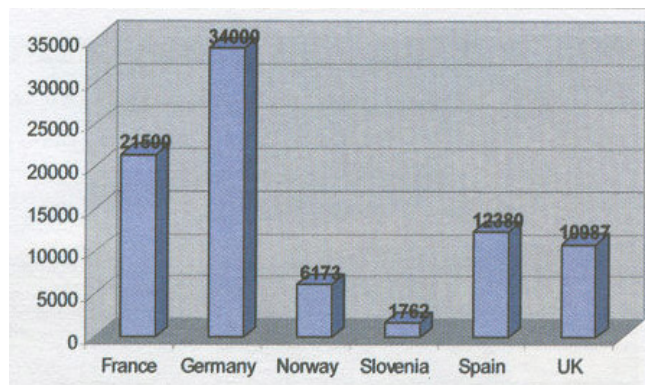
پل ها کلیدهای ارتباطی بر روی جاده های شهرها و یا شبکه ی راه آهن هستند و سرمایه ای که باید برای ساخت یک پل هزینه شود، بسیار زیاد است. در بسیاری از موارد، چنانچه ظرفیت باربری پل، کاهش یابد و یا پل تخریب شود، هزینه ی بسته شدن یک جاده و بازسازی آن می تواند تا دو برابر افزایش یابد. پل ها علاوه بر اینکه از نظر سازه ای دارای اهمیت هستند، از نظر معماری و زیبایی ظاهری نیز بسیار مهم می باشند. به همین دلیل، فرسودگی و تخریب یک پل علاوه بر اینکه شبکه ی ارتباطی را با مشکل مواجه می کند، از نظر زیبایی هم به شهر لطمه وارد می کند. بدیهی است که با گذشت زمان، پل ها دچار خسارت هایی می شوند که اگر برای آنها سیستمی برای تعمیر و نگهداری پیش بینی نشود، بسیار زودتر از عمر مفید پیش بینی شده در طراحی، غیر قابل بهره برداری می شوند

## مروری بر تعداد و انواع پل های کشورهای اروپایی:

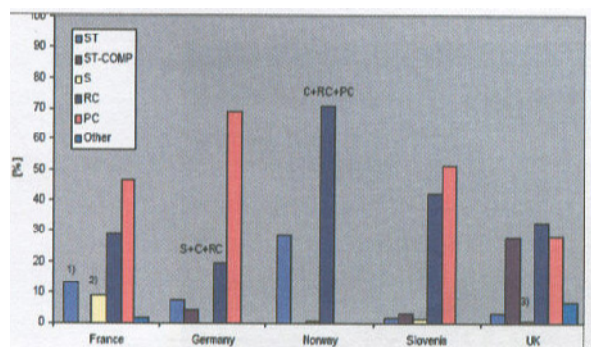
شبکه ی حمل و نقل برای اقتصاد اروپا بسیار بااهمیت است و نقش بزرگی در پیشرفت اجتماعی، اقتصادی و زندگی روزمره ی شهروندان ایفا می کند. حرکت و انتقال افراد و اجناس در اروپا سالانه پانصد میلیارد یورو هزینه می برد که این مقدار در حدود 15 درصد کل درآمد شهروندان اروپاست.

سرمایه گذاری انجام گرفته در شبکه ی جاده ای اروپا بسیار سنگین بوده و در این میان پل ها تخریب پذیرترین و گران ترین اجزای جاده محسوب می شوند. ارزش پل ها در فرانسه 12 میلیارد یورو، در انگلیس 23 میلیارد یورو، در اسپانیا 4/1 میلیارد یورو و در آلمان 30 میلیارد یورو برآورد شده است. نمودارهای 1 و 2 به ترتیب،

تعداد و نوع پل ها را در کشورهای مختلف اروپا نشان می دهند. با توجه به نمودار 1، کشور آلمان با تعداد 34000 پل و کشور اسلونی با تعداد 1762 پل به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پل می باشند. با توجه به نمودار 2، در کشورهای یاد شده پل های بتنی در مقایسه با سایر انواع پل، دارای بیشترین تعداد هستند و بنابراین، از لحاظ اقتصادی توجه به کیفیت بتن در پل ها و انجام بازرسی و تعمیرات دوره ای، در افزایش عمر مفید پل ها بسیار تأثیرگذار خواهد بود.



نمودار 1: تعداد پل ها در کشورهای مختلف اروپا



نمودار 2: تعداد پل ها براساس نوع مصالح

## معرفی سیستم مدیریت پل (BMS):

به طور کلی سیستم مدیریت پل، وسیله ای برای آگاهی از وضعیت پل ها از زمان طرح اولیه تا پایان عمر مفید آنها می باشد. متأسفانه بسیاری از مسئولان و مهندسان پل ها، با آنکه می دانند پل ها به بازرسی و نگهداری نیاز دارند، به برنامه ریزی برای بازرسی و نگهداری و افزایش عمر پل ها اهمیت کافی نمی دهند و در نتیجه، پل ها دچار آسیب دیدگی می شوند که با توجه به وضعیت آنها، باید تعمیر یا مقاوم سازی و یا بازسازی انجام پذیرد. برای آگاهی از وضعیت پل ها، از زمان شروع بهره برداری تا پایان عمر مفید آنها، به کارگیری یک سیستم مدیریت پل (Bridge Management System-BMS) ضروری است. به طور کلی هدف از سیستم مدیریت پل، داشتن دیدی کلی و به روز از همه ی پل های تحت مدیریت، بهینه کردن نسبت سود و هزینه در انجام تعمیرات پل، تعیین روش نگهداری و همچنین فراهم آوردن امکان ارزیابی پل ها بر اساس عملکرد آنهاست. این سیستم شامل بازرسی های منظم دوره ای و جمع آوری اطلاعات، ارزیابی شرایط پل و تعیین وضعیت کیفی و بهره وری پل، تعیین نوع تعمیرات مورد نیاز و هزینه های مربوط، مقایسه ی اقتصادی انواع روشهای تعمیر، تعیین تأثیر انجام تعمیرات بر طول دوره ی بهره وری پل، تعیین زمان بهینه برای انجام تعمیرات، مطالعه ی روند فرسودگی و آسیب دیدگی پل و تعیین عمر مفید پل بر اساس وضعیت موجود می باشد. [1-2] بدیهی است که تعیین وضعیت پل ها بدون بازرسی آنها امکان پذیر نیست. مهمترین اطلاعات در خصوص تخریب پل های بتنی مانند خوردگی آرماتورها، ترک خوردگی، قلوه کن شدن بتن و کرمو شدگی را می توان از طریق بازرسی های چشمی به دست آورد؛ اما بعضی مواقع وضعیت پل به گونه ای است که تنها بازرسی چشمی کافی نیست و برای ارزیابی صحیح، بازرسی ویژه، آزمایش های غیر مخرب و حتی آزمایش های مخرب لازم می شود. [3-4]

اغلب کشورهای پیشرفته جهان و نیز برخی از کشورهای در حال توسعه، سالهاست که بر اساس مدل های مختلف بسط داده شده، به ایجاد و توسعه ی سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری برای مجموعه پل های کشور خود پرداخته اند. از جمله مدل های معتبر می توان به مدل های به کار گرفته شده در کشورهایی همچون آمریکا، آلمان، فرانسه، انگلستان، نروژ، اتریش و اسلونی اشاره کرد.[3]

در این مقاله، با هدف تدوین سیستمی برای مدیریت پل های بتنی، نرم افزاری با عنوان Bridge Management System (BMS) بسط داده شد. در این نرم افزار با استفاده از مدل کشور انگلستان، مدل UK، می توان وضعیت کیفی پل های بتنی را تعیین و همچنین اثر تعمیر پل ها را بر افزایش عمر مفید آنها بررسی کرد.

### معرفی مدل UK:

در مدل UK وضعیت کیفی پل ها با عدد اولویت نگهداری (MPN) بیان می شود. در این مدل، پل به المانهای کوچکتر (اعضای تشکیل دهنده ی پل) تقسیم بندی می شود. به هر المان یک عدد وضعیت (CV) میان یک تا پنج اختصاص داده می شود؛ که عدد یک بیانگر شرایط خوب و عدد پنج بیانگر عضو با شرایط بحرانی است، سپس عدد CV تعیین شده با استفاده از الگوی معرفی شده در این مدل، به یک ضریب وضعیت (CF) تبدیل می شود که از این ضریب برای تعیین عدد MPN استفاده می شود.[4] با توجه به موقعیت المان در یک پل، برای هر المان نیز یک ضریب موقعیت (LF) بین 5 تا 10 تعیین می شود. همچنین با توجه به نوع جاده ای که پل در آن قرار گرفته است (جاده ی شهری، بزرگراه، ...) یک ضریب جاده (RF) بین 9 تا 14 در نظر گرفته می شود. سپس با توجه به ضرایب تعیین شده برای هر المان، عدد اولویت نگهداری از فرمول یک محاسبه می شود. حداقل عدد MPN برای مهمترین عضو پل در یک بزرگراه و در وضعیت بحرانی،  $3/2$  و حداکثر عدد MPN برای یک عضو کم اهمیت پل در یک جاده ی فرعی با بار ترافیکی بسیار کم و در وضعیت بسیار خوب، عدد 100 می باشد. [4]

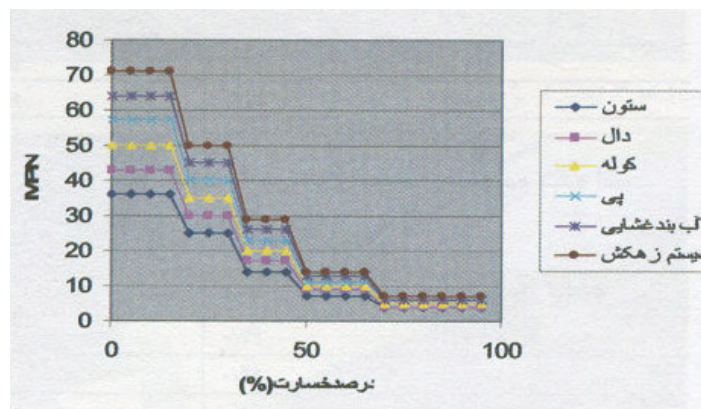
$$MPN = \frac{B \times E \times R}{4} \quad (1)$$

پس از محاسبه ی عدد MPN تمام اعضای پل، عدد MPN برای کل پل تعیین می شود.

### بررسی عدد MPN اعضای پل :

در این قسمت، تغییرات عدد MPN بر اساس مدل UK با توجه به درصد خسارت وارد شده به اعضای مختلف پل مانند ستون، دال، کوله، پی، آب بند غشایی و سامانه ی زهکش بررسی می شود. به طور کلی هر چه عدد MPN عضو کمتر باشد، اهمیت آن عضو برای پل بیشتر و تعمیر و نگهداری آن مهمتر است. نمودار 3 تغییرات عدد MPN چند عضو از پلی را که به طور مثال در یک بزرگراه قرار دارد، بر اساس مقادیر مختلف خسارت نشان می دهد.

با توجه به نمودار فوق، در زمانی که درصد خسارت صفر است، ستون دارای کمترین MPN و سامانه ی زهکش دارای بیشترین MPN می باشد. با توجه به نمودار 3 در زمانی که درصد خسارت صفر است، عدد MPN اعضاء به ترتیب از ستون، دال، کوله، پی، آب بند غشایی و سامانه ی زهکش افزایش پیدا می کند و به ترتیب برابر با 36، 43، 51، 57، 64 و 71 می باشد. از آنجا که در هنگام استفاده از نرم افزار BMSAP برای هر عضو پل، با توجه به درصد خسارت وارد به آن، یک عدد وضعیت بین 1 تا 5 تعیین می شود، نمودار تغییرات عدد MPN اعضاء به صورت پله ای می باشد و تا زمانی که عدد MPN به مینیمم مقدار برسد، چهار مرحله افت خواهد داشت. در جدول 1 میزان کاهش عدد MPN در هر مرحله به صورت درصد ارائه شده است.



نمودار 3: تغییرات عدد MPN اعضای پل در بزرگراه

جدول 1: میزان کاهش عدد MPN اعضای پل در بزرگراه

اعضاء	مرحله ی اول	مرحله ی دوم	مرحله ی سوم	مرحله ی چهارم
ستون	5/30	5/30	4/19	3/8
تیر	5/30	5/30	4/19	3/8
دال	2/30	2/30	6/18	6/12
کوله	30	30	20	10
پی	8/29	8/29	21	7/8
نشیمن گاه	2/30	2/30	6/18	6/12
دیوار جناحی	30	30	20	10
سامانه ی زهکش	5/29	5/29	1/21	8/9
درز انبساطی	6/29	6/29	3/20	9/10
آب بند غشایی	6/29	6/29	3/20	9/10

در جدول 2 میزان کاهش عدد MPN در مراحل دوم به بعد نسبت به مرحله ی نخست سنجیده شده است.

جدول 2: مقایسه ی میزان کاهش عدد MPN نسبت به مرحله ی نخست

اعضاء	مرحله ی اول	مرحله ی دوم	مرحله ی سوم	مرحله ی چهارم
ستون	1	1	64/0	27/0
تیر	1	1	64/0	27/0
دال	1	1	61/0	42/0
کوله	1	1	67/0	33/0
پی	1	1	7/0	29/0
نشیمن گاه	1	1	61/0	42/0
دیوار جناحی	1	1	67/0	33/0

33/0	71/0	1	1	سامانه ی زهکش
37/0	68/0	1	1	درز انبساطی
37/0	68/0	1	1	آب بند غشایی

با توجه به جدول های 1 و 2 می توان نتیجه گرفت که میزان کاهش عدد MPN اعضاء در مرحله ی نخست و دوم یکسان بوده و بیشترین مقدار کاهش در همین دو مرحله رخ داده است.

### بررسی اهمیت نوع جاده :

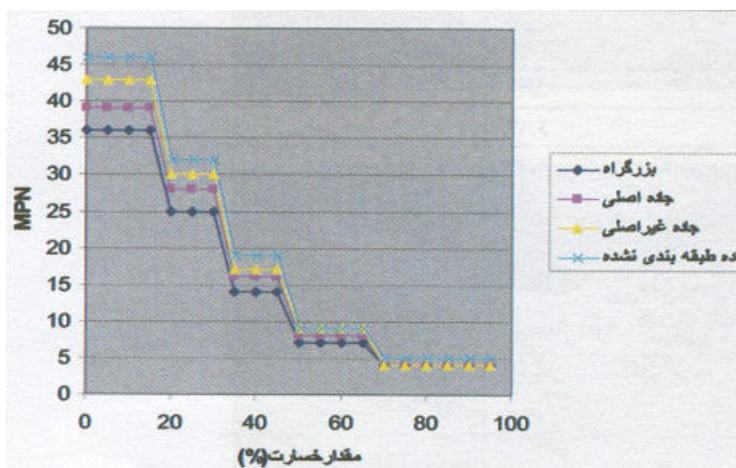
در نرم افزار BMSM طبق مدل UK، جاده ها به چهار نوع، بزرگراه، جاده ی اصلی، جاده ی غیر اصلی و جاده ی طبقه بندی نشده تقسیم می شوند. بررسی تغییرات عدد MPN در انواع جاده ها نشان می دهد که نوع جاده در عدد MPN بسیار مؤثر است. به عنوان مثال، براساس نمودارهای 4 و 5 اگر پل در بزرگراه واقع شده باشد و دچار خسارت شود، نسبت به حالتی که پل در جاده ی غیر اصلی واقع شده باشد، وضعیت آن بدتر خواهد بود. نمودار 4 تغییرات عدد MPN مربوط به ستون در جاده های مختلف را با توجه به درصد خسارت وارده به آن نشان می دهد.

با توجه به نمودار 4، در زمانی که درصد خسارت صفر می باشد، عدد MPN مربوط به ستون در بزرگراه برابر 36، در جاده ی اصلی 39، در جاده ی غیر اصلی 43 و در جاده ی طبقه بندی نشده برابر با 47 است. بنابراین، عدد MPN پلی که در بزرگراه قرار دارد، چنانچه آسیب ببیند، زودتر از پلی که در جاده ی اصلی شهر قرار گرفته است، کاهش پیدا خواهد کرد و چنانچه پلی که در جاده ی اصلی قرار گرفته آسیب ببیند، عدد MPN آن زودتر از پلی که در جاده ی غیر اصلی قرار گرفته، کاهش می یابد.

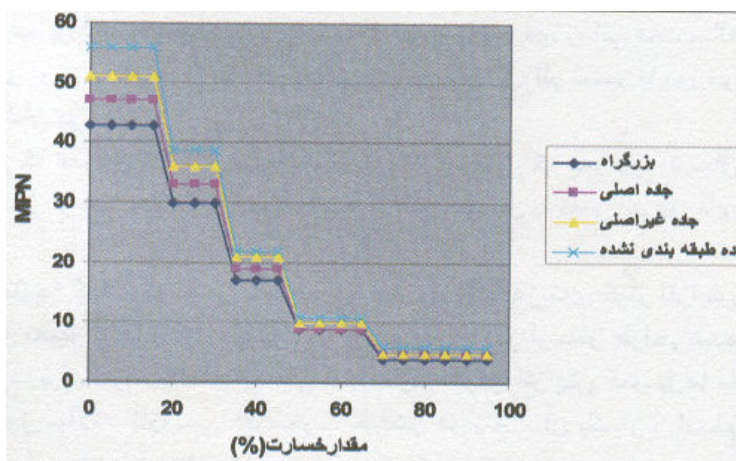
نمودار 5، نمودار تغییرات عدد MPN مربوط به نشیمن گاه در جاده های مختلف است. با توجه به نمودار 5، زمانی که درصد خسارت صفر باشد، عدد MPN مربوط به نشیمن گاه در بزرگراه برابر 43، در جاده ی اصلی 47، در جاده ی غیر اصلی 51 و در جاده ی طبقه بندی نشده برابر با 56 است. همچنین با توجه به نمودار

مشخص است که هر چه درصد خسارت افزایش یابد، تفاوت عدد MPN اعضاء در جاده های مختلف کاهش خواهد یافت.

همچنین، زمانی که مقدار خسارت صفر باشد، تفاوت کمترین و بیشترین عدد MPN مربوط به نشیمن گاه برابر با 27 می باشد؛ در حالی که مقدار خسارت از حدود 70 درصد بیشتر می شود، تفاوت عدد MPN اعضاء به عدد 1 می رسد.



نمودار 4: تغییرات عدد MPN ستون در جاده های مختلف



نمودار 5: تغییرات MPN نشیمن گاه در جاده های مختلف

## نتیجه گیری:

پل ها عناصر سازه ای بسیار مهم، پرهزینه و کلید ارتباطی در جاده ها هستند؛ بنابراین توجه به وضعیت پل ها در زمان ساخت و در طول دوره ی بهره برداری بسیار ضروری است. با توجه به تعداد قابل توجه پل ها در شبکه ی ارتباطی، تعمیر و نگهداری آنها به یک سیستم مدیریتی مبتنی بر اصول علمی نیاز دارد. با استفاده از مدل های ریاضی بسط داده شده، می توان وضعیت کیفی پل را در مقطع زمانی فعلی تعیین و در آینده نیز آن را پیش بینی کرد. بدین ترتیب، می توان در مورد زمان انجام تعمیرات برنامه ریزی کرد و با برآورد هزینه ی تعمیرات، بودجه ی مورد نیاز را تعیین نمود. براساس مطالعات انجام گرفته، برای افزایش عمر پل ها با کمترین هزینه، انجام بازرسی چشمی سالانه، بازرسی غیر مخرب حداکثر هر پنج سال یک بار و انجام تعمیرات ضروری حداکثر هر هفت سال یک بار پیشنهاد میگردد.

## مراجع:

- [1] Woodward R J, et.al., 2001, Bridge Management in Europe-final report. BRIME PL97-2220
- [2] Godart B and P R Vassie, 2001, Bridge Management Systems: Extended review of Existing BMS and outline Framework for a European System. BRIME PL97-2220
- [3] RINA, V.K, 1994, Concrete Bridge, Inspection, Repair, Strengthening, Testing and Load Capacity Evaluation. Mc Graw. HILL, New Delhi.
- [4] Ryall, M.J., 2001, Bridge management, Prentice Hall International Series, New Jersey.
- [5] طرح و محاسبه پل، جلد اول پل های بتنی، ترجمه مهندس شاپور طاحونی، چاپ اول، انتشارات امیرکبیر