

## استفاده از روش LBC و هوش مصنوعی در سیستم مدیریت پل

دکتر سیدعباس طباطبائی ، استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز

تلفن : ۰۹۱۶۶۰۸۱۱۵۰ ، نمابر : ۰۶۱۱-۳۳۶۴۹۹۳

پوریا دشتی زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

تلفن : ۰۹۱۶۱۱۸۵۳۰ ، نمابر : ۰۶۱۱-۳۳۳۷۹۱۹ ، پست الکترونیک : pooria\_dz۲۰۰۳@yahoo.com

### چکیده

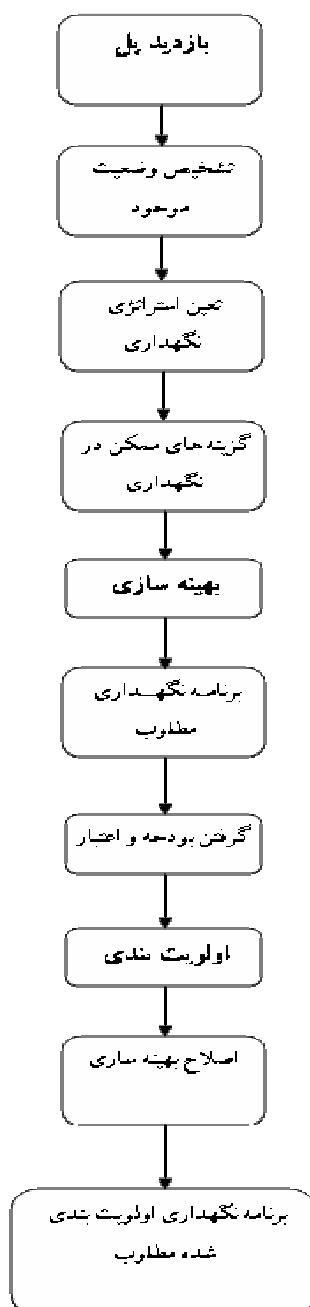
روش های مرسوم در بازبینی و بازرسی پلها متکی بر روشهای دستی می باشد که این روشها بدلیل محدودیت های بصری و فضایی باعث می گردند که نتایج حاصل از این بازرسی ها دارای ضریب خطای نسبتاً بالا و غیرکارا باشد. بعلاوه ارزیابی و رتبه بندی وضعیت موجود پل و المانهای آن کاملاً بسته به نظریه کارشناسی شخص بازدیدکننده دارد که این امر نیز باعث ایجاد عدم اطمینان به نتایج حاصل خواهد شد. به همین منظور سیستم های نوین و کارآمد جهت کمک به کارشناسان بازدیدکننده به منظور کنترل مشکلات و آسیبهای وارده به پل تهیه شده است. در این مقاله روش جدیدی موسوم به روش LBC (*Mobile location – Based computing*) که شامل استفاده از روشهای کامپیوتری در محل به منظور بازرسی آسیبهای وارده به سازه پل و نیز ارزیابی وضعیت پل از نظر خرابی و میزان آسیب دیدگی می باشد ، شرح داده شده است . در ادامه نیز تعدادی از سیستم های موسوم به *AI* (*Artificial Intelligence*) یا هوش مصنوعی که جهت ارزیابی و رتبه بندی (*Rating*) پل از نظر میزان آسیب دیدگی بکار گرفته می شوند و شامل روش های *ES* و *BN* می باشند، مقایسه خواهند شد.

**کلید واژه ها :** سیستم مدیریت پل *BMS* ، بازرسی پل ، روش *LBC* ، هوش مصنوعی *AI* ، روش *BN* و *ES*

### ۱- مدیریت پل چیست؟

مدیریت پل *BMS* (*Bridge Management System*) شامل کلیه فعالیتهای در طول عمر پل از مرحله طراحی و ساخت ، نگهداری و بازرسی و بالاخره تعویض جزئی و یا کلی سازه پل می باشد و هدف از آن حفظ شرایط مطلوب پل ، سرویس دهی و امکان تردد روان ترافیک است. [۱]

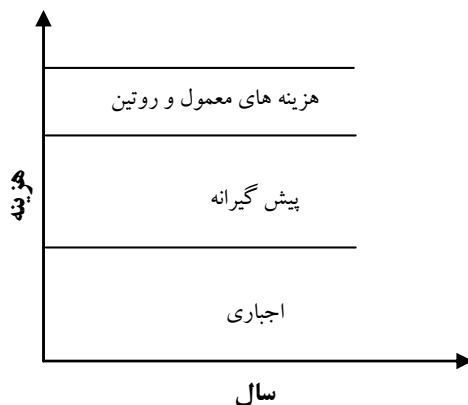
ساختار کلی مدیریت پل در سراسر جهان و در کلیه روشهای موجود چه به صورت دستی و چه به صورت خودکار و کامپیوتری شامل مراحل نشان داده شده در فلوچارت زیر می باشد: [۲]



شکل ۱: مراحل ساختار کلی مدیریت پل

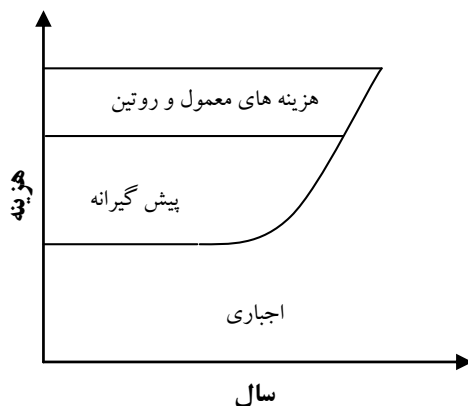
مدیریت پل نیاز به حمایت های دو بخش فنی و مالی دارد. در واقع به محض ساخت و اتمام پروژه یک پل، دوره نگهداری آن آغاز می گردد و به موازات این دوره می بایست برنامه ریزی جهت بازدید، جمع آوری اطلاعات، آنالیز و در نهایت تعمیرات مورد نیاز پل در طول دوره سرویس آن صورت گرفته و

هزینه های آن نیز تامین گردد. به عبارت دیگر یک رابطه همیشگی میان هزینه نگهداری پل و عمر سازه وجود دارد. بهترین حالت نگهداری پل در نمودار زیر نشان داده شده است. [۲]



شکل ۲: روش مناسب نگهداری پل

در صورت عدم تامین اعتبار کافی و به موقع، جهت کلیه مولفه های نگهداری یک پل، نمودار هزینه-سال مانند شکل (۳)، خواهد بود. [۲]



شکل ۳: شرایط نگهداری پل در صورت تامین اعتبار ناکافی

## ۲- معرفی روش LBC ( Location-Based Computing )

قابلیت جابجائی و سیار بودن یکی از ویژگی های مهم کارهای میدانی می باشد. یکی از کارهای میدانی بازدید پلها است که به معنای بازدید چشمی و ثبت و درج خرابی های پل و وضعیت موجود سازه آن می باشد. در بازرسی پل شخص بازدید کننده می بایست عمده وقت خود را به منظور جابجایی در رسیدن به محل پلهای مورد نظر صرف نماید. شخص بازدید کننده با توجه به اندازه و نوع پل می بایست از بخشهای مختلف پل از جمله روسازه، زیرسازه و بالادست و پایین دست آن بازدید نماید و حتی ممکن است لازم باشد که از بخشهای مختلف پل بالا برود. تعیین محل دقیق شخص بازدید کننده با توجه به المان های مورد بازدید می تواند کمک بزرگی به جمع آوری اطلاعات سازه ای و همچنین آسیب های



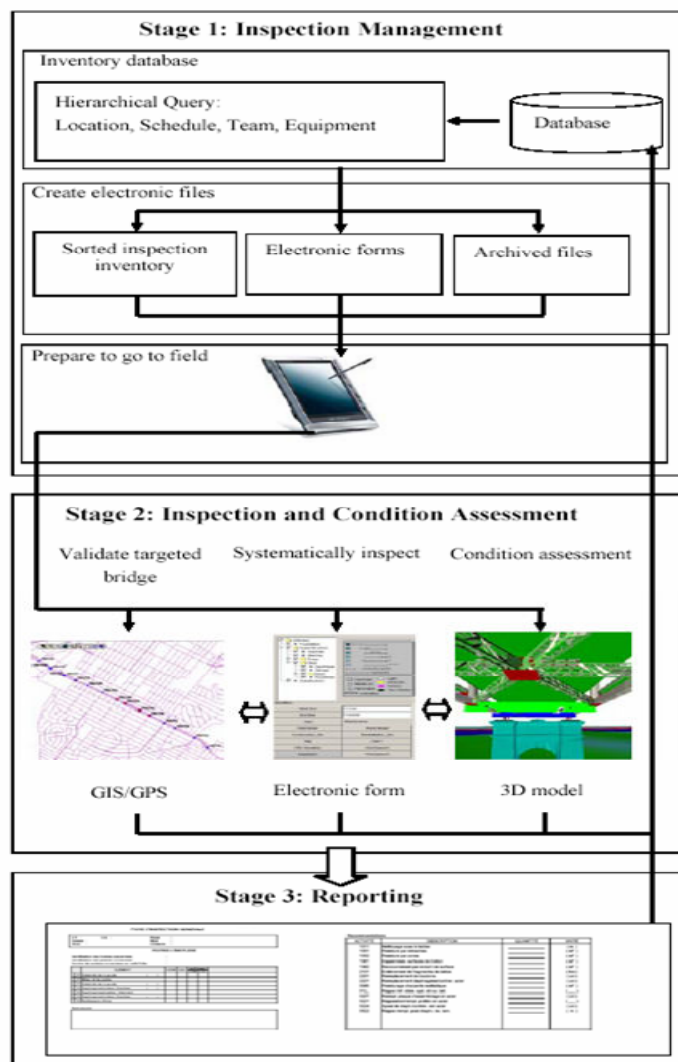
وضعیت، نتیجه تعین ظرفیت کاربردی و شرایط فیزیکی پل و اجزاء آن و نیز بررسی انواع آسیب های وارده به پل می باشد. [۴]

در مرحله سوم، کلیه اطلاعات بدست آمده از بازدید های در محل در فایل های ویژه پل که در محیط اتوکد ترسیم شده اند به منظور تهیه گزارش نهائی ذخیره می شوند. در حال حاضر بازدید پل ها با استفاده از پرکردن میدانی چک لیست ها و برگه های گزارش و سپس تهیه گزارش های نیمه دستی در دفتر کار صورت می گیرد. در کشور ما چک لیست های مختلفی جهت ثبت وضعیت پل ها توسط اشخاص و نهادهای مختلف طراحی شده است. به عنوان مثال آخرین چک لیست های مورد استفاده در پل های زیر نظر وزارت راه و ترابری، براساس فرمت های ارائه شده در نشریه شماره ۲۸۰ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و با عنوان مشخصات فنی و عمومی راهداری و به تفکیک چهار بخش عرشه، روسازه، زیرسازه، بالادست و پایین دست پل می باشد که دارای یک برنامه زمان بندی ویژه جهت بازدید هر یک از چهار بخش مذکور است. این فرم ها دارای دو ستون می باشند، یکی مربوط به شرح آسیب و کد آن (DF) و دیگری مربوط به شرح روش پیشنهادی مرمت و بازسازی و کد و هزینه آن (CY) [۵].

معایب استفاده از این روش در گردآوری اطلاعات، راندمان پایین و از طرفی دقت کم آن می باشد. به منظور برطرف نمودن این معایب، تکنولوژی های سیار و LBC می توانند در اتوماتیک نمودن فرایند و افزایش دقت و کارائی آن مفید باشند (شکل ۴). در این شکل گام های مقدماتی و آمادگی بحث مدیریت

بازدید در مرحله اول با استفاده از کامپیوتر و نرم افزار نشان داده شده است.

**شکل ۴: فرایند مهندسی مجدد در بازرسی چشمی پلها**



در مرحله دوم، بازدید در محل و ارزیابی وضعیت موجود سازه با استفاده از تکنولوژی های LBC صورت می گیرد. در نهایت کلیه اطلاعات جمع آوری شده بصورت خودکار در پایگاه داده ها ذخیره شده و فرمت گزارش ها با توجه به پرسش های مورد نیاز (Query) و چارچوب های دلخواه تعیین می گردند.

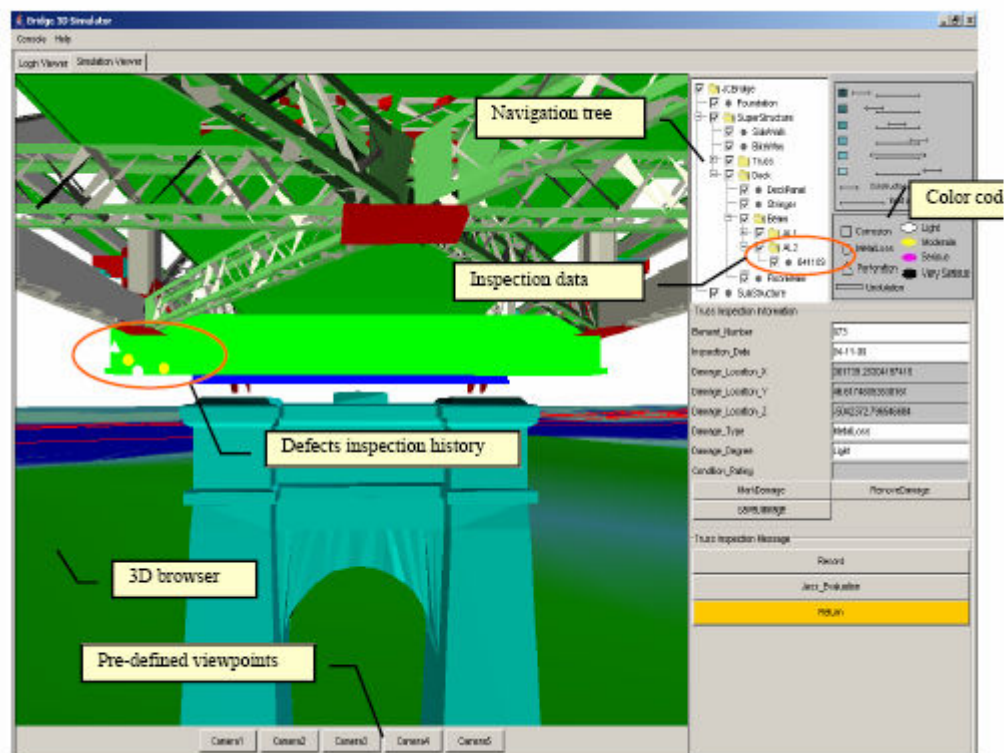
از مزایای استفاده از تکنولوژی های LBC به این موارد می توان اشاره نمود :

- ۱- سهولت در یادگیری، جابجایی و گزارش گیری
- ۲- بهبود کارایی و افزایش دقت در خلال بازدید پل با توجه به اینکه اطلاعات در محل که در پیوند با GPS ، GIS و مدل های سه بعدی می باشند به شخص و یا تیم بازدید کننده امکان به روزآوری کلیه اطلاعات ثبت شده در دوره های بازدید گذشته را می دهد.
- ۳- امکان ایجاد ارتباط و همکاری میان گروه های مختلف بازدید کننده از راه دور

## ۲-۲- طراحی ارتباط انسان و کامپیوتر

یکی از مهم ترین گام ها در پروسه مهندسی مجدد بازرسی پل ها ، توجه کافی به الگوهای مناسب عملکرد متقابل انسان و کامپیوتر در گام دوم مهندسی مجدد ( بازدید در محل و ارزیابی وضعیت) می باشد. برای این منظور طراحی یک زمینه گرافیکی خوب جهت عملکرد مشترک انسان و کامپیوتر GUI (Graphical User Interface) ضروری است. انتظاری که از GUI می رود ، تسهیل عملکرد مشترک GIS دوبعدی و محیط های مجازی سه بعدی در یک زمان و نیز ارائه نتایج قابل قبول به کاربر است. طراحی GUI می بایست با توجه به پروسه منطقی بازدید و اصول صحیح باشد. بعلاوه چنین طراحی ای نیازمند دقت در ورود اطلاعات و کاهش میزان خطای آنها و نیز دسترسی خودکار به اطلاعاتی که می توانند شخص بازدید کننده را یاری دهند، می باشد. یک طراحی خوب GUI در واقع صحت کلیه اطلاعات ارائه شده ، ارزیابی و برآورد سازه پل و تصمیمات خاص جهت نگهداری سازه را تضمین می نماید. به منظور نمایش مدل سه بعدی بر روی صفحه نمایش کوچک کامپیوتری که در محل مورد استفاده قرار می گیرد ، می بایست یک فصل مشترک (Interface) ساده و در عین حال مفید و با تاکید بیشتر بر قابلیت های راهنمایی و عملکرد مشترک طراحی گردد. محیط اصلی Interface می بایست جهت نمایش مدل سه بعدی استفاده گردد. با افزودن یک ساختار درختی از پل به Interface می توان باعث سهولت در یافتن المان های مختلف سازه پل شد. در حین جستجو در پایگاه داده ها ، ریشه درخت شناسائی شده و گره ریشه ساخته می شود. سپس Query ها بصورت متناوب در یافتن گره سایر اعضا و با توجه به اطلاعات ثبت شده استفاده می شوند. هر گره درخت یک چک باکس دارد که نمایش و یا عدم نمایش آن عضو خاص بر روی مدل سه بعدی را میسر می سازد. به منظور هدایت کاربر

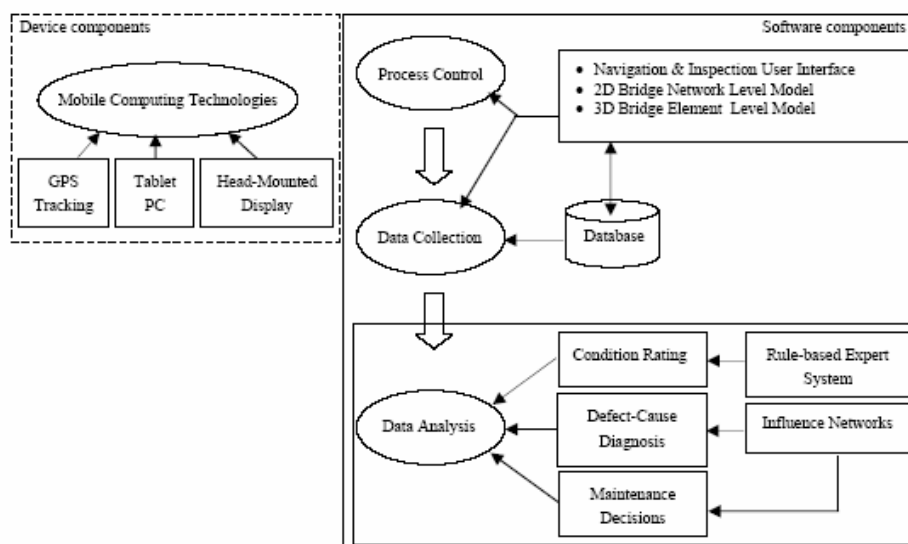
در هنگام استفاده از مدل سه بعدی چندین نظرگاه نیز به صورت تعریف شده در برنامه طراحی می گردند مانند نمای جانبی ، نمای سه بعدی و غیره. همچنین طراحی یک سیستم ساده کد و علامت گذاری به منظور تفکیک انواع مختلف آسیب های وارده به پل (مانند انواع ترکها ، خیز ، اثرات شیمیائی آب و غیره) و نیز میزان آسیب دیدگی ( جزئی ، متوسط ، شدید و خیلی شدید) ضروری است. با مشخص کردن کد و رنگ ، این امکان به وجود می آید که با انتخاب یک عضو از سازه پل و همچنین سال بازدید از ساختار درختی ، به صورت اتوماتیک تاریخچه آسیب های ثبت شده و سایر اطلاعات مربوط به آن عضو بر روی مدل سه بعدی به نمایش در می آید (شکل ۵).



شکل ۵: شمائی از Interface

## ۲-۳- ساختار کلی سیستم LBC در بازدید پل ها

استفاده از روش های محاسبه سیار باعث تسهیل در فعالیت های شخص بازدید کننده می شود ، زیرا این امکان را به او می دهد که بر روی فعالیت های بازدید تمرکز نماید. در شکل (۶) ، نمائی کلی از روش ها و اجزاء مختلف استفاده شده در LBC جهت بازدید پل ها نشان داده شده است. در این سیستم ها دو نوع مختلف اجراء وجود دارد که شامل تجهیزات و نرم افزار می باشد.



شکل ۶: ساختار کلی سیستم LBC

تجهیزات شامل کامپیوترهای لپ تاپ ، کامپیوترهای پوشیدنی (Wearable Computers) ، دریافت کننده های GPS ، نمایشگرهای قابل نصب بر روی سر HMD (Human-Mounted Display)، دوربین های دیجیتال و سایر تجهیزات بی سیم می باشد. در شکل ۷، نمونه ای از تجهیزات همراه شخص بازدید کننده نشان داده شده است.



شکل ۷: نمونه ای از وسایل سیار مورد استفاده در بازدید پل ها

وظایف نرم افزار شامل سه مرحله می باشد :

۱- کنترل مراحل بازدید      ۲- گردآوری اطلاعات      ۳- تحلیل اطلاعات

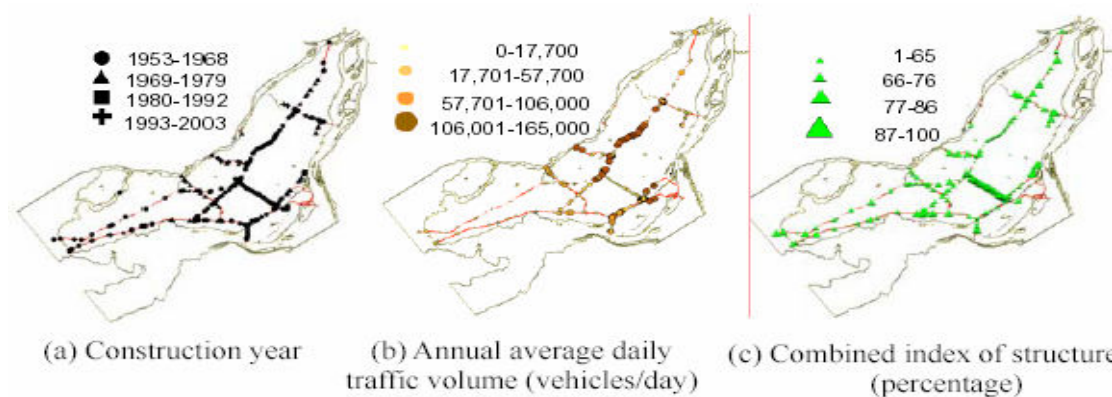
هر مرحله شامل عملکردهای مختلفی است. کنترل مراحل بازدید در واقع شخص بازدید کننده را با توجه به نیازهای بازدید و ویژگی های مختلف هر المان از سازه پل نظیر تیرهای اصلی ، دال ، کوله و نوپرین



ها هدایت می نماید. جمع آوری اطلاعات بر اساس مدل های دوبعدی و سه بعدی پل ها و با جزئیات متفاوت می باشد. در مرحله آنالیز و تحلیل اطلاعات، ارزیابی وضعیت موجود، تشخیص علل خرابی ها و نیز تصمیمات متناسب با توجه به ملاحظات نگهداری سازه پل، انجام می شود.

## ۲-۴- پیوند مدل های دوبعدی و سه بعدی

یکپارچه کردن نقشه های دوبعدی GIS با پایگاه داده های BMS، به مشاهده اطلاعات اولیه و اساسی درباره پل نظیر سال ساخت، میزان ترافیک عبوری، تناژ و وضعیت کلی پل کمک قابل توجهی می نماید. نقشه های GIS که در چندین لایه هستند، مشاهده انواع مختلف اطلاعات را امکان پذیر می نماید. همانگونه که در شکل شماره ۸، مشاهده می شود شخص بازدیدکننده به راحتی می تواند از روی لایه های مختلف نقشه به اطلاعات مختلف دست یابد.

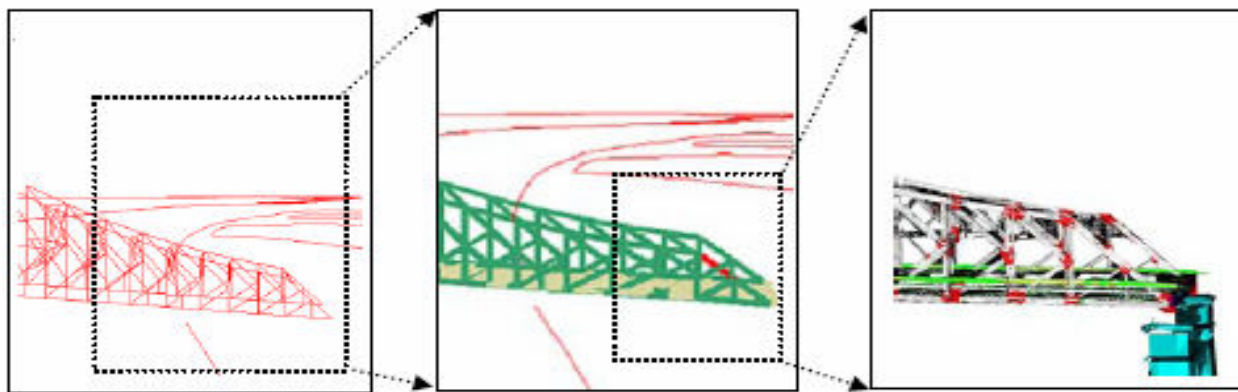


شکل ۸: لایه های مختلف نقشه های GIS

بر روی این نقشه ها علاوه بر نقطه از چندضلعی و خط نیز می توان جهت نشان دادن پل ها استفاده نمود. هر یک از این عناصر خطی کاربردهای متفاوتی دارند. مثلاً جهت نمایش تقریبی عرشه پل می توان از عناصر خطی چندضلعی بهره گرفت و با استفاده از آن مساحت تقریبی عرشه پل را برای مقاصد نگهداری محاسبه نمود. جانمایی پل ها را نیز می توان با استفاده از نقشه های موجود راهها و یا عکس های هوایی مشخص کرد.

علاوه بر نقشه های دوبعدی GIS، مدل های سه بعدی از پل نیز می توانند با BMS در پیوند باشند. با استفاده از سطوح مختلف جزئیات (Level of Details) LoD در مدل های سه بعدی و با توجه به دقت مورد نیاز می توان بخش های مختلف پل ها را ترسیم و به نمایش در آورد. در شکل (۹)، مثالی از سه LoD یک پل نشان داده شده است: مدل سیمی، المان های منشوری و مدل سه بعدی با جزئیات کامل.

با استفاده از مدل سه بعدی به خوبی می توان اطلاعات مختلف سازه پل را وارد نمود. با این وجود این روش گران بوده و فقط در مورد پل های بزرگی که معمولاً نقشه های سه بعدی در محیط اتوکد ، برای آنها ترسیم شده باشد ، می تواند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۹: LoD های سه بعدی از نمایش پل

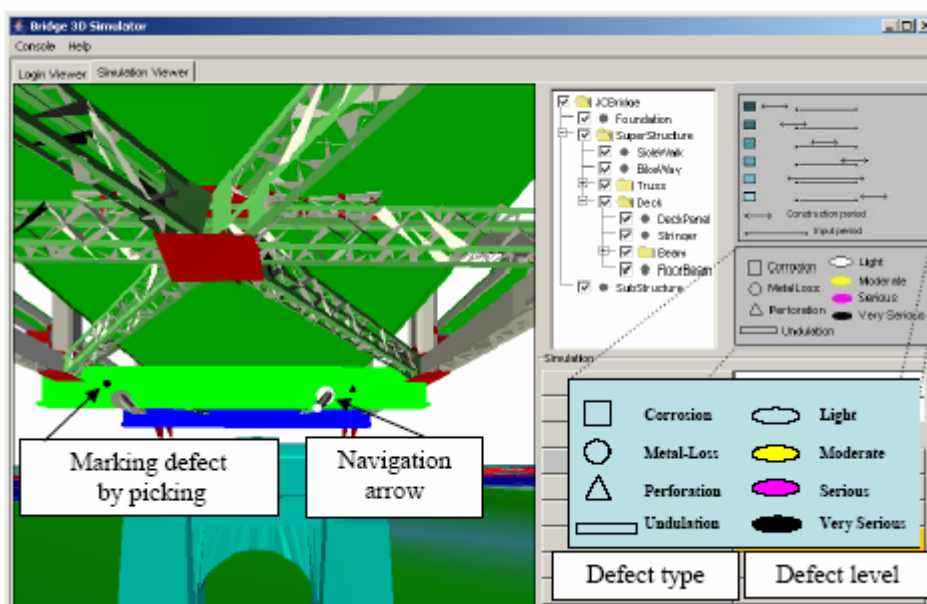
## ۲-۵- راهنمای خودکار انتخاب پل مورد بازدید

شخص یا تیم بازدیدکننده از پل ها ، ممکن است در یک مقطع زمانی کوتاه ، چندین پل نزدیک به هم و با دهانه های کوچک را بازدید نماید و یا زمان نسبتاً زیادی جهت بازدید از پل های بزرگ و با راههای دسترسی دشوار و با فواصل بسیار زیاد از هم ، صرف نماید. در هر دو حالت شخص یا تیم بازدیدکننده یک پلان و برنامه کلی در مورد ترتیب بخش های مختلف پل که می بایست بازدید شوند و یا خود پل هایی که می بایست مثلاً در یک روز مورد بازدید قرار گیرند و مسیرهای منتهی به آنها را در نظر دارد. انتخاب بهترین مسیر جهت بازدید بیشترین پل ها در کوتاه ترین زمان ، باعث افزایش بهره وری و راندمان می گردد. هر چند که استفاده از یک برنامه مشخص و غیرقابل انعطاف عملی نخواهد بود زیرا پیش بینی کلیه موارد و دشواری هایی که در فرایند بازدید پل به وقوع می پیوندند ، مشکل می باشد. به عنوان مثال هنگامی که شخص بازدیدکننده در حین بازدید به مورد خاصی برمی خورد که در برنامه کلی پیش بینی نشده باشد ، می بایست برنامه خود را با توجه به مشکل بوجود آمده (مثلاً بالا آمدن بیش از حد سطح آب و عدم امکان بازدید زیرسازه) ، تغییر دهد. بنابراین تعیین برنامه بازدید از پل های مشخص در یک مقطع زمانی با توجه به موقعیت فعلی قرارگیری شخص بازدیدکننده ، بسیار مفید و موثر است.

## ۲-۶- ثبت خرابی های پل بر روی مدل سه بعدی

بهترین روش جهت انتخاب و بازدید از پل و اجزاء آن از روی نقشه های سه بعدی ، انتخاب المان های پل با وسایل مختلف از جمله موس و یا سایر وسایل مشابه الکترونیکی می باشد. با استفاده از این روش کلیه اطلاعات جمع آوری شده از بازدید ، به سادگی و با انتخاب المان مورد نظر، ذخیره و ثبت می شوند

و در عین حال گزارش های بازدید دوره های قبلی و کلیه اطلاعات مربوط به آن المان قابل دستیابی می باشند. در واقع روش کار به این ترتیب است که در پی بازدید میدانی چنانچه آسیب خاصی در المان پل مشاهده گردید با انتخاب اشکال هندسی مختلف از منوی کنار صفحه ، نوع آسیب وارده به پل مشخص گردد. هر کدام از این اشکال هندسی که بهتر است به صورت دوبعدی و ساده باشند ، در اصل گویای نوع خاصی از خرابی می باشند که با توجه به نوع المان انتخاب شده در پایگاه داده های اولیه توسط کارشناسان ثبت شده است. این اشکال که به صورت دایره ، مربع ، مستطیل و غیره می باشند امکان ساده ورود و دریافت اطلاعات مربوط به آن نوع خرابی خاص را میسر می نمایند. پس از انتخاب نوع خرابی توسط شکل مربوطه با استفاده از موس ، محل تقریبی آن بر روی مدل سه بعدی پل ثبت می شود. علاوه بر این ، میزان شدت خرابی نیز مهم است و با استفاده از رنگ های مختلف ، چهار درجه تعریف شده در دیتابیس از شدت خرابی (جزئی ، متوسط ، شدید و خیلی شدید) مشخص می شوند. در شکل ۱۰ ، نحوه انتخاب نوع خرابی و تعیین محل آن بر روی یک تیر عرضی و در نهایت ثبت شدت آن به کمک رنگ های مختلف بر روی مدل سه بعدی نشان داده شده است.



شکل ۱۰: نحوه انتخاب نوع ، محل و شدت خرابی بر روی مدل سه بعدی

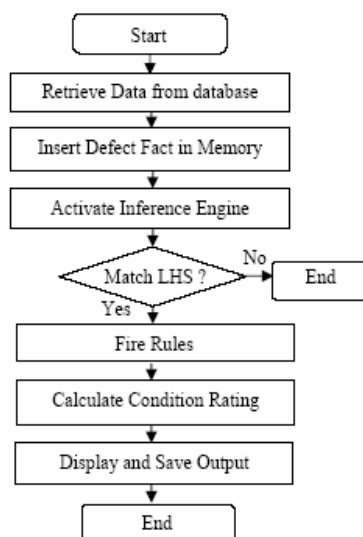
از مزایای این روش این است که با استفاده از Interface طراحی شده ، می توان سازه پل ، انواع خرابی های ثبت شده در المان های مختلف آن ، تاریخچه کلیه خرابی ها و تعمیرات احتمالی در سال های گذشته و نیز برآورد ریالی هزینه های مرمت و بازسازی پل را در دفتر کار ، مشاهده و بررسی نمود و دیگر نیازی به رویت چشمی پل مورد نظر نمی باشد. روش LBC جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی و یا درخواست اعتبار مورد نیاز به منظور مرمت و نگهداری بسیار مفید و موثر است.

### ۳- استفاده از سیستم های هوش مصنوعی در مشاوره و تصمیم گیری

پس از گردآوری و ثبت کلیه اطلاعات در مورد سازه پل ، نوع و شدت خرابی آنها در پایگاه داده های از پیش تعریف شده و بر روی مدل سه بعدی سازه پل ، می بایست کلیه این اطلاعات گردآوری شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و تصمیم نهائی در مورد بازسازی و سایر ملاحظات نگهداری آنها اخذ شود. در سیستم های دستی این عملیات بدین صورت انجام می شد که اطلاعات جمع آوری شده در دفاتر کار و توسط گروه های کارشناسی و مهندسی تجزیه و تحلیل می شدند و در نهایت به منظور ترمیم و مرمت پل ها و رده بندی آنها از نظر میزان خرابی ، با توجه به بودجه های نگهداری تصمیم گیری می شد. این روش دارای معایب زیادی می باشد از جمله اینکه به شدت به میزان علم و تجربه شخص بازدیدکننده و گروه تصمیم گیری وابسته است و دارای خطای انسانی قابل توجهی می باشد و از طرف دیگر ، ملاحظات منطقه ای و سیاسی نیز احتمالاً در تصمیم گیری گروه کارشناسی اثرگذار خواهد بود. راهکار مناسب در این ارتباط، استفاده از DSS (Decision-Support System) و بر اساس استفاده از هوش مصنوعی AI (Artificial Intelligence) می باشد. در ادامه دو روش جدید DSS ، یکی روش ES (Expert System) و دیگری روش BN (Bayesian Network) توضیح داده می شوند.

#### ۳-۱- روش ES (Expert System)

در این روش یک سری دستورالعمل ها جهت ارزیابی و برآورد وضعیت پل تعریف می شود. کلیه اطلاعات و کدهای بازدیدهای میدانی و آیتم های خرابی پل ها و تجارب بدست آمده به یک سری دستورالعمل تبدیل می شوند و سپس در یک پایگاه داده ها ثبت می گردند. هنگامی که اطلاعاتی که قبلاً در پایگاه داده ها ثبت شده اند بازخوانی می گردند ، یک موتور نتیجه گیرنده فعال شده و پس از تطبیق اطلاعات با دستورالعمل های پیش تعریف شده در سیستم ، وضعیت موجود را ارزیابی نموده و نتایج خروجی در مورد وضعیت موجود پل را ارائه می نماید. خلاصه ای از روش عملکرد سیستم ES در شکل (۱۱) ، نشان داده شده است.



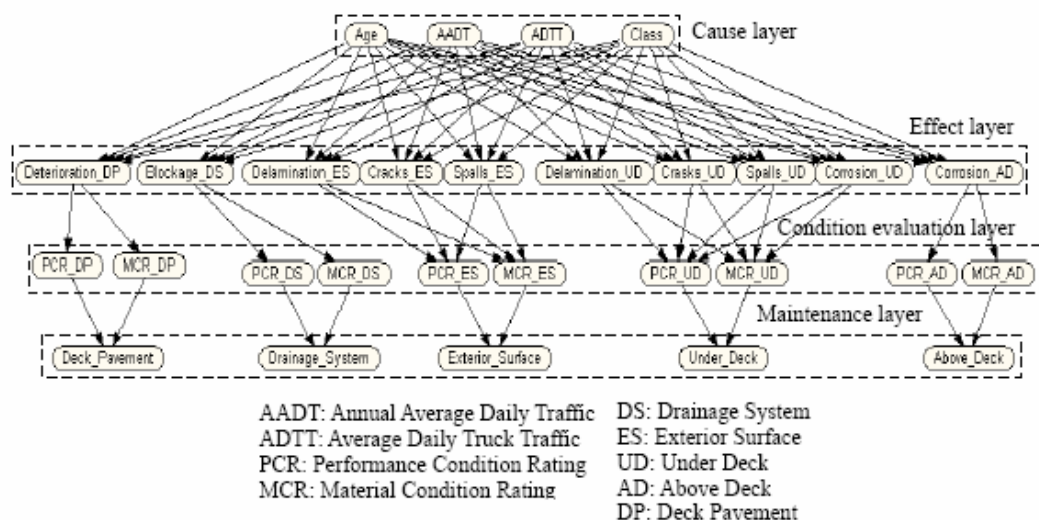
شکل ۱۱: روش ES

### ۳-۲- روش BN (Bayesian Network)

با توجه به ماهیت روش ES، این روش بیشتر به منظور ارزیابی و تصمیم گیری در مورد پل های کوچک با شرایط و آیت های اندک کاربرد دارد. زیرا اگر اطلاعات بازدید دارای روابط متعدد و پیچیده باشند، استفاده از روش ES بسیار پیچیده، وقت گیر و دارای پائین خواهد بود. بنابراین روش دیگری موسوم به BN به منظور تصمیم گیری در مورد وضعیت موجود پل در محل به تیم بازدید و تصمیم گیرنده کمک خواهند نمود. نتایج این روش با استفاده از الگوریتم EM (Expectation-Maximization)، مورد آزمایش قرار گرفته و نقاط ضعف آن شناسائی می شوند. این روش عمدتاً جهت ارزیابی و تصمیم گیری در مورد دال پل ها مورد استفاده قرار می گیرد. Poole در سال ۱۹۹۸ گام های لازم جهت طراحی یک BN مناسب را به این شرح تعریف کرد: ۱- تعریف متغیرهای وابسته (نظیر عمر سازه، ترافیک عبوری، نوع ترک ها و ...) ۲- تعریف حالات مختلف متغیرها (نظیر نوع بتن و ...) ۳- ایجاد رابطه میان متغیرها ۴- محاسبه CPT های (Conditional Probability Tables) گره ها. روش BN نیازمند استخراج اطلاعات از بازدیدهای قبلی، تعریف گره ها و حالات مختلف، تهیه یک فایل موضوعی، ایجاد رابطه میان متغیرها، محاسبه CPT ها با استفاده از الگوریتم EM و در نهایت انجام آزمایش های متوالی و مختلف از شبکه طراحی شده، می باشد. کلیه این گام ها و مراحل در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

همان گونه که در شکل نشان داده شده است، پیش از تهیه BN می بایست متغیرها و حالات مختلف، از اطلاعات بازدیدها که بر اساس آیت های شناخته شده خرابی پل ها می باشند استخراج و تعریف شوند تا فایل موضوعی ساخته شود. در مجموع متغیرهای تعریف شده در فایل می بایست شامل علل عمده خرابی عرشه پل ها، نوع خرابی ها، ارزیابی وضعیت و ملاحظات نگهداری باشد. حالات مختلف

متغیرها نیز در واقع بازه ای است که آن متغیر در آن قرار دارد. پس از باز خوانی اطلاعات از فایل موضوعی گره ها و حالات در BN تعریف می گردند. روابط میان گره ها می بایست به صورت دستی و براساس اطلاعات و دانش مهندسی طراحی گردد. روابط میان گره ها در چهار لایه تقسیم بندی می شود: لایه علل خرابی ، لایه اثر خرابی ، لایه ارزیابی وضعیت موجود و لایه نگهداری. گره های لایه های بالا علت گره های لایه های پایین می باشند.



شکل ۱۲: ساختار BN برای آسیب های وارده به یک دال بتنی

در واقع در روش BN ، زمینه اصلی و اطلاعات اولیه مهندسی توسط تیم های کارشناسی تهیه می گردد و سیستم BN با ایجاد پیوند میان کلیه لایه های تعریف شده و بر اساس دانش هوش مصنوعی به تجزیه و تحلیل خرابی های پل و علل آنها و در نهایت ارائه راهکار و کمک به تصمیم نهایی در مورد وضعیت موجود پل می پردازد

#### ۴- خلاصه و نتیجه گیری

در مجموع جهت ایجاد یک سیستم LBC کارآمد و مناسب جهت گردآوری اطلاعات بازدیدها می بایست : ۱- یک GUI مناسب جهت تسهیل گردآوری و به روزآوری اطلاعات در محل طراحی گردد. ۲- پیوند میان GIS و مدل های سه بعدی با سطوح جزئیات مختلف (LoDs). ۳- طراحی یک الگوریتم به منظور انتخاب اتوماتیک پل ها با استفاده از GPS . ۴- طراحی روش های ساده جهت انتخاب و مشخص کردن آسیب ها و خرابی ها بر روی مدل سه بعدی.

پس از بازدید پل با استفاده از روش LBC ، کلیه اطلاعات گردآوری شده جهت تصمیم نهایی در مورد زمان و میزان مرمت و بازسازی با استفاده از سیستم های DSS که شامل روش های BN و ES

می باشند ، مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. ES برای پل های کوچک با المان های محدود و روش BN برای پل های بزرگ با المان های زیاد و بیشتر برای دال پل ها مورد استفاده قرار می گیرند. از مزایای اتوماتیک کردن فرایند بازدید و تصمیم گیری می توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱- افزایش دقت و کاهش میزان خطا      ۲- افزایش بهره وری و راندمان      ۳- تسهیل فرایند بازدید و تصمیم گیری

#### ۴- مراجع

- [۱] SAMCO Final Report ۲۰۰۶, F. Report on Bridge Management, "PRACTICAL BRIDGE MANAGEMENT", July ۲۰۰۳
- [۲] B Godart and P R Vassie, "Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline Framework for a European System", Feb ۲۰۰۱
- [۳] Yongxin Hu, " Mobile Location-Based Bridge Inspection Decision-Support System", A thesis in the department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, Feb ۲۰۰۶
- [۴] Northern University, "Infrastructure Technology Institute", July ۲۰۰۶, [www.iti.northwestern.edu/publications/fish/highway\\_manual.html](http://www.iti.northwestern.edu/publications/fish/highway_manual.html)
- [۵] نشریه شماره ۲۸۰ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور "مشحصات فنی عمومی راهداری" ۱۳۸۳