

معرفی شبکه های عصبی Bayesian و کاربرد آنها در نگهداری پل ها

دکتر سیدعباس طباطبایی^۱، پوریا دشتی زاده^۲

۱- استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشگاه شهید چمران، دانشکده مهندسی، گروه عمران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مدیریت ساخت، اداره کل راه و ترابری استان خوزستان

Email: pooria_dz2003@yahoo.com

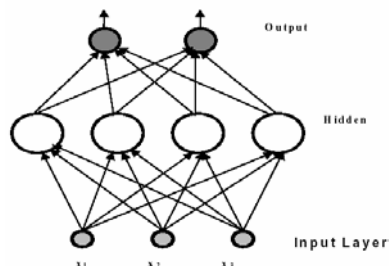
خلاصه

در مسائل عمرانی به دلیل تعدد و تنوع فاکتورها و عوامل غیرقابل کنترل، پیش بینی وضعیت آینده در هر یک از مراحل و در نهایت تصمیم سازی در مورد آنها بسیار مشکل می باشد. دخیل بودن عوامل انسانی، به کارگیری مصالح با رفتار پیچیده و محدود بودن اطلاعات اولیه بر دشواری پیش بینی و تصمیم سازی در این گونه مسائل می افزاید. در این مقاله ضمن معرفی شبکه عصبی Bayesian به عنوان یکی از روش های مبتنی بر شبکه های عصبی به کاربرد آن در مدل کردن مسائل غیرخطی و پیچیده مهندسی عمران از طریق الگوریتم های خاص و روش های آماری پرداخته می شود. با استفاده از این روش می توان به مدل کردن روابط علت و معلولی یک فرایند، آنالیز وضعیت موجود و پیش بینی وضعیت آینده یک سیستم یا فرایند پرداخت. در ادامه نیز کاربرد شبکه عصبی Bayesian در مدیریت و نگهداری پل ها و الگوریتم ایجاد آن در آسیب شناسی پل ها تشریح می گردد.

کلمات کلیدی: شبکه های عصبی Bayesian، لبه ها، حالات، گره، متغیر، جدول احتمالات شرطی، نگهداری پل ها.

مقدمه

شبکه های عصبی ابزار جدیدی هستند که به منظور تحلیل مسائل مشکل و پیچیده، استراتژی های نو معرفی می نمایند. شبکه های عصبی الگوریتم های کامپیوتری هستند که بر پایه ساختار محرک و پاسخ مغز انسان مدل گردیده اند. این شبکه ها معمولاً به منظور فراگیری نقشه های ورودی - خروجی مجموعه ای از الگوها و نمونه ها مورد استفاده قرار می گیرند. روابط کاربردی میان متغیرها "فراگرفته" می شوند بدون اینکه نیازی به تعریف روابط میان تک تک متغیرها باشد. این شبکه های عصبی در حل مسائلی که روابط میان متغیرها به درستی روشن نباشد بسیار مفید هستند. تا به امروز عمده کاربردهای شبکه های عصبی در مهندسی عمران به دلیل سادگی روش تحقیق (Methodology) بر استفاده از الگوریتم پس انتشار (Back-Propagation) متمرکز شده است [۱]. همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می گردد ساختار شبکه های عصبی پس انتشار از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده است. هر لایه شامل تعدادی نرون (گره) می باشد که به صورت کامل با نرون های لایه های مجاور در ارتباط وزنی هستند [۲]. در ادامه به شرح روش Bayesian و کاربرد آن در تصمیم سازی مسائل پیچیده مربوط به پل های بزرگ به عنوان یکی از موثرترین و پرکاربردترین شبکه های عصبی مصنوعی می پردازیم.



شکل ۱ - ساختار شبکه های عصبی پس انتشار

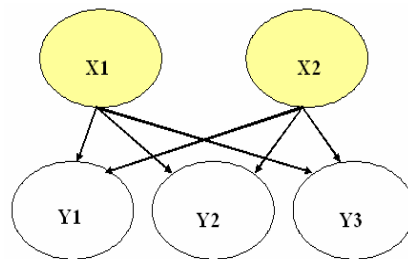
۱ عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ کارشناس اداره کل راه و ترابری استان خوزستان

شرح روش Bayesian Neural Network

این روش یکی از روش های DSS می باشد که ابزاری قدرتمند در مدل کردن روابط علی و معلولی در قالب شبکه ای از احتمالات است. از قابلیت های این روش می توان به موارد ذیل اشاره نمود [۳]:

- نمایش متغیرها در یک مدل به صورت گره و روابط علت و معلولی به صورت ارتباطات میان این گره ها.
 - استفاده از اطلاعات گذشته به منظور پیش بینی وضعیت آینده.
 - تشخیص موقعیت فعلی یک مجموعه بر اساس موقعیت گذشته آن.
 - تحلیل مسائل با اطلاعات مبهم ، ناکافی ، متضاد و غیرقطعی هم در گذشته و هم در حال حاضر.
- نکته بسیار مهم در مورد روش BN این است که این روش به اطلاعات دقیق و تاریخیچه کامل یک واقعیت نیاز ندارد بلکه می تواند با استفاده از اطلاعات ناقص و غیردقیق نیز به نتایج بسیار قانع کننده ای در زمینه پیش بینی وضعیت فعلی و آینده یک سیستم دست یابد. BN یک مدل است که می تواند مدل هر چیزی باشد ، مثلاً وضعیت آب و هوا ، یک بیماری و علائم آن ، وقوع طوفان و وضعیت سازه ای یک پل. عدم قطعیت در بسیاری از موقعیت ها وجود دارد. به دلیل اینکه روش BN یک روش سازگار و انعطاف پذیر برای مدل کردن موقعیت های غیرقطعی و نیز یک مدل گرافیکی مبتنی بر ادراک مستقیم از اندرکنش میان علل و معلول های مختلف ارائه می نماید یک روش بسیار مفید در مدل کردن موقعیت های نامطمئن و غیرقطعی بر اساس روابط علت و معلولی است.
- هر یک از متغیرهای تصمیم گیری در روش BN به صورت یک گره مدل می شوند. هر گره دارای حالات مختلف و یا مجموعه ای از مقادیر احتمالات برای هر متغیر می باشد. گره ها توسط پیکان هایی که نشان دهنده جهت اثر و رابطه علت و معلول می باشد به هم متصل می شوند. این پیکان ها "لبه" (Edge) نامیده می شوند (شکل ۲) [۳].



شکل ۲- نمایش گره ها و ارتباطات میان آنها

برای هر گره حالات مختلف در نظر گرفته می شود و برای هر یک از حالت ها نیز درصدی به عنوان احتمال وقوع منظور می گردد. درصد احتمالات هر گره از حالت های دیگر تأثیر می گیرد.

قوانین Baye

روش BN بر اساس تلاش ها و مطالعاتی که در اواخر قرن هجدهم توسط ریاضیدانی به نام Thomas Bayes که بر روی تئوری احتمالات کار می کرد نام گذاری شده است که مجموعه تلاش های وی منجر به ارائه قوانینی به نام قوانین Baye شد. به ساده ترین شکل می توان این قانون را به صورت زیر ارائه نمود [۳]:

$$P(b|a) = \frac{P(a|b) \times P(b)}{P(a)} \quad (1)$$

که $P(a)$ احتمال وقوع پدیده a ، $P(a|b)$ احتمال وقوع پدیده b از میان احتمال وقوع پدیده a می باشد. به عنوان مثال فرض می کنیم که بر اساس مطالعات علمی دریابیم که ۲۰ درصد از خوردگی آرماتورها در بتن مسلح بر اثر یون کلر باشد. از طرفی از طریق مطالعات محیطی منطقه می دانیم که از هر ۲۰ پل یک پل در معرض حمله یون های کلر قرار دارد و از هر ۱۰ پل یک پل دچار خوردگی آرماتور می گردد. حال می خواهیم بدانیم که در این منطقه خاص چند درصد از خوردگی های آرماتورها در بتن مسلح ناشی از اثرات یون های کلر می باشد :

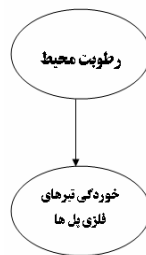
$$P(\text{خوردگی آرماتور} | \text{یون کلر}) = \frac{P(\text{یون کلر}) \times P(\text{خوردگی آرماتور} | \text{یون کلر})}{P(\text{خوردگی آرماتور})} \quad (2)$$

$$P(\text{خوردگی آرماتور} | \text{یون کلر}) = \frac{0.2 \times 0.05}{0.1} = 0.1 = 10\% \quad (3)$$

بنابراین پلی که دچار خوردگی آرماتور شده است، احتمال اینکه در معرض یون کلر بوده باشد فقط ۱۰ درصد است. با استفاده از روش BN می توان قوانین Baye را به صورت گرافیکی مدل نمود. همچنین اگر تعداد متغیرها و مقدار آنها بسیار زیاد باشد حجم الگوریتم خیلی بزرگ و محاسبه آن بسیار پیچیده خواهد شد. برای این منظور از نرم افزاری موسوم به BNet.Builder بهره گرفته می شود که باعث افزایش سرعت، دقت و بهره وری می گردد. در ادامه به معرفی ساختار و کاربردهای عملی روش BN در قالب این نرم افزار خواهیم پرداخت.

ساختار شبکه Bayesian

در روش BN که یک ساختار گرافیکی می باشد متغیرها به صورت گره و روابط علت و معلولی آنها با استفاده از یک سری پیکان موسوم به Edge مشخص می گردند (شکل ۳).



شکل ۳- مثال روابط علی و معلولی

گره ها (Nodes)

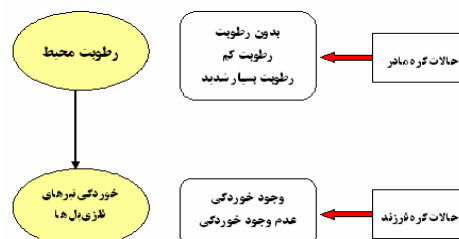
در شکل بالا نمونه ای ساده از گره ها و ارتباطات آنها نمایش داده شده است. یک گره مربوط به رطوبت محیط و گره دیگر مربوط به خوردگی تیرهای فلزی پل ها می باشد.

لبه ها (Edge)

رابطه علی میان دو گره توسط Edge مشخص می شود که به صورت یک پیکان بوده و جهت آن از علت به معلول است. به این معنا که اگر یک پیکان از گره X به گره Y ترسیم شده باشد نشان می دهد که گره X علت گره Y است. حال اینکه چگونه یک گره بر روی سایر گره ها اثر می گذارد توسط جداول احتمالات شرطی یا CPT (Conditional Probability Tables) که برای هر گره تعریف می شود مشخص می گردد. لبه ها همچنین بعضی از ویژگی های گره ها را نیز نشان می دهند. هنگامی که دو گره توسط یک لبه به هم متصل می شوند گره علت، گره مادر و گره معلول، گره فرزند نامیده می شود. در این مثال رطوبت محیط علت خوردگی تیرهای فلزی پل ها می باشد [۳].

حالات (States)

مقادیر مختلف متغیرها بر اساس حالات ممکن آن تعیین می گردد. در مثال مورد بحث، مهم ترین حالات متغیر رطوبت محیط عبارتند از: بدون رطوبت، رطوبت کم و رطوبت بسیار شدید. می دانیم که رطوبت محیط یا باعث خوردگی فلزات می شود و یا آن قدر میزان آن کم است که تأثیری بر روی سازه های فلزی ندارد. اینها نیز حالات متغیر خوردگی می باشند که در شکل ۴ نمایش داده شده است [۳].



شکل ۴- نمایش حالات گره ها

جدول احتمالات شرطی CPT

هر گره دارای یک CPT است که با آن در ارتباط می باشد. احتمالات شرطی میزان احتمالات را بر اساس اطلاعات و تجارب پیشین مشخص می نمایند.

احتمالات شرطی با نماد ریاضی $P(X|p_1, p_2, \dots, p_n)$ نمایش داده می شوند. یعنی احتمال متغیر X در حالت X که توسط گره مادر P_1 در حالت p_1 ، گره مادر P_2 در حالت p_2 و گره مادر P_n در حالت p_n بدست آمده است. بدین شکل برای هر گره مادر و هر حالت ممکن گره مادر ، ردیفی در CPT وجود دارد که میزان احتمال اینکه گره فرزند این حالت را دارا باشد توصیف می نماید. در واقع درصد احتمال وقوع هر یک از حالات در CPT گره های مادر تعیین کننده درصد احتمال وقوع حالات تعریف شده در گره های فرزند می باشد. به عنوان مثال ، در شکل ۵ می توان اولین ردیف مربوط به گره میزان خوردگی تیرهای فلزی پل را به این صورت خواند : احتمال اینکه میزان خوردگی در حالت رطوبت بسیار کم وجود داشته باشد ۵ درصد است و احتمال اینکه عدم خوردگی در حالت رطوبت بسیار کم وجود داشته باشد ۹۵ درصد می باشد (شکل ۵) [۳].

	Parent	Child	
		میزان خوردگی تیرهای ...	Σ
	رطوبت ...	وجود خوو...	عدم وجود...
1	بدون رطوبت	0,050	0,950
2	رطوبت کم	0,350	0,650
3	رطوبت بسیار شدید	0,900	0,100

شکل ۵- CPT گره میزان خوردگی تیرهای فلزی

CPT نشان داده شده در شکل ۵ به این سوال پاسخ می دهد که مثلاً در حالتی که رطوبت محیط بسیار بالاست درصد احتمال خوردگی تیرهای فلزی پل ها چند درصد است؟
گره هایی که دارای گره مادر نمی باشند نیز دارای CPT هستند ولی این CPT ساده تر بوده و تنها شامل مقدار احتمال وقوع هر یک از حالات خود گره می باشد (شکل ۶).

	Child		
	رطوبت محیط		
	بدون رط...	رطوبت کم	رطوبت ...
Σ			
1	0,050	0,550	0,400

شکل ۶- CPT گره فرزند

باورها (Beliefs) و شواهد (Evidences)

باورها احتمالاتی هستند که یک متغیر در شرایط قطعی و بر اساس مطالعات کلی داراست. این باورها تنها بر اساس اطلاعات و تجارب گذشته تعیین می گردند و مستقل از شرایط فعلی و خاص یک متغیر می باشند. اما در پاره ای موارد نیاز است که اطلاعات موقعیت فعلی نیز در تصمیم سازی مورد استفاده قرار گیرند. اعمال اطلاعات فعلی در باورهای قطعی از طریق فاکتوری به نام شاهد صورت می گیرد.
مثلاً در مثال مورد بحث شواهدی در دست است که در حال حاضر میزان رطوبت محیط بسیار کم می باشد. با استفاده از شواهد می توان میزان رطوبت حال حاضر محیط را در CPT اعمال نمود و نتیجه آن را بر روی باورها مشاهده کرد. به این ترتیب درصد احتمال وقوع هر یک از حالات در یک متغیر به دو عامل باورها و شواهد بستگی دارد و در واقع بر دقت تصمیم گیری از این طریق افزوده می شود.
در شکل ۷ نمونه ای از تأثیرات میزان شواهد را بر باورها مشاهده می نماییم [۳].

States		Beliefs	Evidence
بدون رطوبت	5.00		
رطوبت کم	55.00		
رطوبت بسیار شدید	41.00		

States		Beliefs	Evidence
بدون رطوبت	5.68		50.00
رطوبت کم	12.50		10.00
رطوبت بسیار شدید	81.82		90.00

شکل ۷- نمایش تأثیر باورها و شواهد بر حالات گره ها

شواهد بر دو نوع هستند : شواهد سخت که مقدار آنها در یک حالت از یک گره ۱۰۰ درصد و صفر در حالت های دیگر آن گره باشد و شواهد نرم که مقدار آنها در یک حالت از یک گره کمتر از ۱۰۰ درصد و در حالت های دیگر آن گره بیش از صفر باشد. این نوع شواهد معمولاً در مورد اطلاعات غیرقطعی و نامطمئن به منظور افزایش دقت تصمیم گیری به کار می روند.

کاربرد شبکه Bayesian در نگهداری پل ها

Poole و همکارانش در سال ۱۹۹۸ گام های لازم جهت طراحی یک BN پیشرفته و کارآمد به منظور مدیریت پل ها را مطرح نمودند. این گام ها شامل ۱- تعریف متغیرهای وابسته ۲- تعریف حالات مختلف متغیرها ۳- تعریف و ایجاد ارتباط میان متغیرها و ۴- محاسبه CPT برای هر گره می باشند. در این روش نیاز است که اطلاعات حاصل از بازدید پل ها استخراج شده ، گره ها و حالات آنها تعریف گردند ، یک فایل موضوعی تولید شود ، ارتباط میان متغیرها برقرار گردد ، CPT گره ها محاسبه گردد و در نهایت شبکه مورد آزمایش قرار گیرد. این گام ها در نمودار زیر نشان داده شده اند [۴].

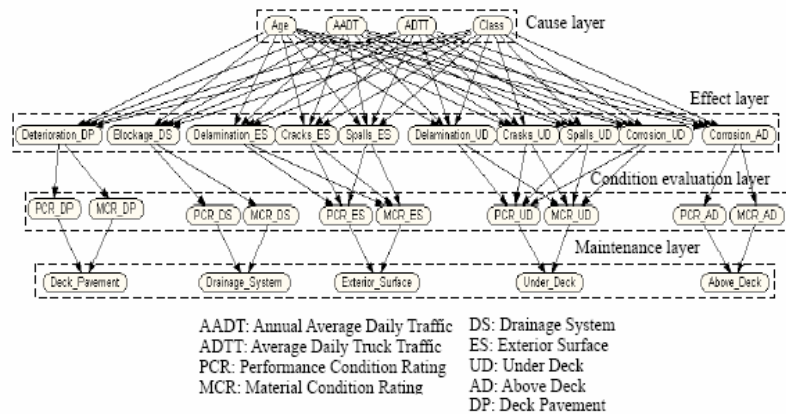


شکل ۸- فلوچارت ایجاد یک شبکه Bayesian برای آسیب شناسی پل ها

همانطور که گفته شد پیش از هر چیز می بایست اطلاعات مربوط به بازدیدهای چشمی پل و آسیب های مشاهده شده در آن استخراج گردند. اطلاعات تعریف شده در این فایل موضوعی شامل عوامل عمده اثرگذار بر روی خرابی عرشه پل، انواع آسیب ها، ارزیابی وضعیت سازه و گزینه های نگهداری سازه می باشند. پس از بازخوانی اطلاعات در فایل موضوعی، گره ها و حالات مختلف آنها در شبکه تعریف می گردند. سپس ارتباط میان گره های مختلف به صورت دستی ایجاد می گردد [۴]. توجه به این نکته ضروری است که تعریف ارتباطات بر اساس تجارب گذشته یا همان شواهد و قضاوت های مهندسی یا باورها صورت می گیرد. روابط میان گره ها در چهار لایه دسته بندی می شوند: لایه علل خرابی، لایه آسیب ها، لایه ارزیابی وضعیت سازه و لایه نگهداری. گره های لایه های بالاتر علل گره های لایه های پایین می باشد. در لایه علت ها، مواردی چون عمر سازه پل ، میزان ترافیک عبوری از روی پل بر اساس AADT یا ADTT ، نوع سازه پل، شرایط آب و هوایی و غیره لحاظ می گردند. در لایه آسیب ها نیز مواردی همچون ترک ، خوردگی، تورق و غیره درج می شوند. ارزیابی وضعیت سازه بر اساس استانداردهای مختلف و در کشورهای مختلف، متفاوت می باشد. به عنوان مثال کشور دانمارک در سیستم مدیریت پل خود موسوم به DANBRO از سیستم ارزیابی صفر تا ۵ استفاده می نماید که حالت صفر بهترین حالت و در حالت

پنج پل در آستانه فروریزش کلی و یا یکی از اعضاء خود قرار دارد. در آمریکا نیز سیستم ارزیابی وضعیت پل از عدد ۹ تا صفر می باشد که عدد ۹ بهترین حالت و عدد صفر وضعیت فروریزش و خرابی کامل است [۵].

گزینه های نگهداری نیز با استفاده از روش های مرسوم در تعمیر و بازسازی پل ها و نیز امکانات و بودجه های موجود صاحبان پل ها تعریف می گردد. در نهایت نیز به منظور تعیین دقت عمل شبکه در پیش بینی وضعیت پل یک آزمایش نرخ خطا برای هر گره با استفاده از فایل های جدید در نظر گرفته می شود. با استفاده از این تست کاربر می تواند گره هایی را که دارای دقت کمتری هستند شناسایی و نسبت به اصلاح آنها اقدام نماید. همچنین کاربر می تواند CPT این گره ها را مجدداً آزمایش نماید و یا اطلاعات آنها را اصلاح کند. در شکل ۹ نمونه ای از شبکه Bayesian تعریف شده برای اولویت بندی محل تعمیر دال ۲۷۹ پل در مونترال در کشور کانادا در بازدهای دوره ای بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ نشان داده شده است [۴].



شکل ۹- ساختار BN برای اولویت بندی تعمیر دال بتنی پل ها

نتیجه گیری

با توجه به ماهیت بسیار پیچیده پروژه های عمرانی اعم از ساخت، مدیریت، نگهداری و تعمیرات استفاده هر چه بیشتر از ابزار کمکی در تصمیم گیری های صحیح ضروری به نظر می رسد. به گونه ای که در پاره ای موارد بدون این ابزار پشتیبان، تصمیم سازی صحیح و نزدیک به واقعیت غیر محتمل خواهد بود. شبکه های عصبی مصنوعی و از جمله آنها شبکه های Bayesian یک ابزار بسیار مطمئن در جهت پشتیبانی از اینگونه تصمیم سازی هاست. از جمله مسائل پیچیده در محدوده مدیریت پل ها، انتخاب بهترین گزینه های نگهداری جهت مرمت و بازسازی با توجه به امکانات و بودجه های نگهداری محدود در کشور ما می باشد. همانگونه که در متن مقاله نیز تشریح گردید با بهره گیری از شبکه های Bayesian در فرایند تصمیم سازی مقوله نگهداری پل ها بسیاری از سردرگمی ها و دوباره کاری ها از بین می روند و نقش قضاوت های ناپخته مهندسی در مورد انتخاب بهترین گزینه بازسازی و مرمت پل ها به حداقل ممکن خواهد رسید.

منابع

- 1- Goh, A.T.C. and Chua, C.G. (2004) Nonlinear modeling with confidence estimation using Bayesian neural networks. Electronic Journal of Structural Engineering.
- ۲- جورابیان، م. و هوشمند، ر.ا.، (۱۳۸۱) منطق فازی و شبکه های عصبی، اهواز، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ۳۰۰ صفحه.
- 3- Anonymous, (2008) About Bayesian Belief Networks for BNet version 1.0. Charles River Analytics, Cambridge. www.cra.com
- 4- Hu, Y., (2006) Mobile Location-Based Bridge Inspection Decision-support System. A thesis in the department of building. Civil and Environmental Engineering. Concordia University. Canada
- 5- Anonymous, (1999) Review of Current Practice for Assessment of Structural Condition and Classification of Defects. Project Funded by the European Commission under the Transport RTD. Program of the 4th Framework Program.