

Bayesian network, a new method for modeling uncertainty in construction project management

Kiazad Abbasnezhad

Master Student, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

Ramin Ansari *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

شبکه‌های بیزین، رویکردی نوین برای مدل سازی عدم قطعیت ها در مدیریت پروژه‌های ساخت

کیازاد عباس نژاد

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

رامین انصاری *

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*Corresponding author's email address:
raminansari@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۸

Abstract

As construction projects consist of different stake holders and operate in a dynamic environment encounter with many risks. Uncertainties affect all project management aspects. Because of that risk modeling in project management has been a big challenge for researchers. Classic methods of uncertainty modeling in project management (fuzzy, objective probability...,etc.) need a lot recorded data for modeling and inference. These data are not accessible every time. Bayesian novel method by participating several data source has made a flexible framework for modeling risks. Project management according to project management body of knowledge (PMBOK) has distributed to deterministic knowledge areas. In this paper application of Bayesian network approach for modeling uncertainty in project management knowledge areas has been reviewed and recent researches has been sorted. The way of future researches almost has been cleared.

Keywords

Risk, Uncertainty, Bayesian network, Construction projects, Project manager

چکیده

پروژه‌های ساخت با توجه به اینکه شامل ذی نفعان مختلفی هستند و در محیطی پویا انجام می‌شوند با عدم قطعیت‌های بسیاری روبه‌رو هستند. عدم قطعیت‌ها بر تمام جنبه‌های مدیریت پروژه تأثیر می‌گذارند. به همین دلیل مدلسازی عدم قطعیت در مدیریت پروژه چالشی همیشگی برای محققین بوده است. روش‌های پیشین بررسی عدم قطعیت در مدیریت پروژه (فازی، احتمالات تکراری و ...) نیاز به داده‌های مستند بسیاری برای مدلسازی و استنتاج دارند. در دسترس بودن این داده‌ها با توجه به ماهیت و تعریف پروژه (تلاشی موقتی و منحصر به فرد) امکان پذیر نبوده است. رویکرد نوین شبکه‌های بیزین با استفاده از منابع مختلف داده همچون قضاوت خبره و داده‌های ثبت شده چارچوب بسیار منعطفی برای مدلسازی عدم قطعیت ایجاد کرده است. مدیریت پروژه طبق استاندارد پم باک تعریف خاصی دارد و به حوضه‌های دانشی معینی تقسیم شده است. در این تحقیق کاربرد رویکرد نوین شبکه‌های بیزین برای مدلسازی عدم قطعیت در حوضه‌های دانشی پم باک به صورتی جامع بررسی شده است. به کمک این مرور و ویژگی‌های استخراج شده از مدل‌های پیشین خلاهای موجود شناسایی و مسیر تحقیقات آینده بخوبی برای محققین قابل پیش بینی شده است. در برخی حوضه‌ها همچون زمان‌بندی، هزینه و منابع تحقیقات بسیاری با استفاده از شبکه‌های بیزین صورت گرفته ولی بر موضوعات مشابهی متمرکز بوده‌اند. در دیگر حوضه‌های مدیریت پروژه همچون مدیریت کیفیت، ذی‌نفعان، تدارکات تحقیقات بسیار کم صورت گرفته و یا در حوضه‌هایی همچون مدیریت یکپارچگی، گستره و ارتباطات هیچگونه تحقیقی با کمک این تکنیک صورت نگرفته است.

کلمات کلیدی

ریسک، عدم قطعیت، شبکه‌های بیزین، پروژه‌های ساخت، مدیریت پروژه

مدیریت شوند [۲-۴]. ریسک‌های پروژه‌های ساخت ممکن است بدایلی همچون تغییرات جوی، رقابت‌های شدید بازار، شرایط سیاسی و... بوجود آیند [۵]. از این نظر پروژه‌های ساخت در مجموعه پروژه‌های پیچیده طبقه بندی شده‌اند و مدیریت این پروژه‌ها نیز بسیار پر چالش است [۶]. پروژه‌ها در تمامی وجوه خود شامل عدم

۱- مقدمه

پروژه‌ها فرایندهای مهمی برای به نتیجه رساندن استراتژی‌ها هستند [۱]. آنها با انواع مختلفی از عدم قطعیت‌ها روبه‌رو هستند، با توجه به این امر برای به موفقیت رساندن پروژه باید عدم قطعیت‌ها به خوبی



5 (1), 2020

دوره ۵، شماره ۱

بهار ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی

مهندسی مدیریت

شبکه‌های بیزین، رویکردی نوین برای مدل سازی عدم قطعیت ها در مدیریت پروژه‌های ساخت

رابطه (۱):

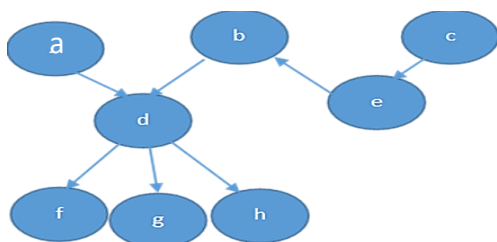
$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

معادله بالا با در نظر گرفتن احتمال B:

رابطه (۲):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B|A) \cdot P(A) + P(B|-A) \cdot P(-A)}$$

در معادلات بالا A و -A رویدادهای متمم یکدیگر هستند و P(A) نشان دهنده احتمال وقوع رویداد A و P(A|B) نشان دهنده احتمال وقوع A به شرطی که رخداد B اتفاق افتاده باشد است. شبکه‌های بیزین گراف‌های جهت‌دار بدون دور هستند و جزو ابزارهای شهودی برای حل مسائل پیچیده علی‌الحساب می‌آیند [۱۸]. کاربرد این شبکه‌ها به سبب توانایی مدل‌سازی ریسک سیستم‌های پیچیده به صورت مداوم در حال افزایش است [۱۹]. مهم‌ترین کاربرد این روش در تحلیل و مدیریت ریسک زمینه‌های مختلفی همچون پزشکی [۲۰]، تحلیل ایمنی حمل و نقل [۲۱]، شناسایی و تشخیص بیماری [۲۲]، نرم افزار [۲۳]، ارزیابی قابلیت اطمینان صنایع [۱۱]، حمل و نقل دریایی [۲۴]، مسائل لرزه‌ای [۲۵]، تحلیل ریسک کسب و کار [۲۶]، اکولوژی [۲۷] و مدیریت پروژه [۲۸] بوده است. یک شبکه بیزین مطابق شکل زیر است:



شکل ۱- نمونه‌ای از یک شبکه بیزین با ۸ گره

شبکه‌های بیزین از دو مولفه کلی تشکیل شده‌اند، که عبارتند از: مولفه کیفی: مولفه کیفی عبارت است از یک گراف که شامل چندین گره و یال است، گره‌ها متغیرهای تصادفی ما هستند و یال‌ها که به نیز پیکان موسوم هستند وابستگی بین متغیرها را نشان می‌دهند [۲۹]. در شکل بالا گره‌ها با حروف انگلیسی (a, b, ..., g) نشان داده شده‌اند و ارتباط بین آنها با پیکان نشان داده شده است. مولفه کمی: مؤلفه کمی شامل مشخص کردن احتمالات پیشین گره‌های والدین P(pa) و جداول احتمالات شرطی گره‌های فرزند P(d|P(pa, d)) با تمام حالات ممکن است، اگر احتمال گره‌های والدین معلوم باشد در آن صورت به عنوان مثال خواهیم داشت: P(e|c), P(d|a, b). علاوه بر این، گره‌ها در شبکه‌های بیزین دسته بندی‌های خاصی دارند که عبارتند از: گره‌های والد: این گره‌ها که فاقد گره‌های والد هستند، و هیچ پیکانی به آنها وارد نمی‌شود در شکل بالا گره‌های c & a گره‌های والد هستند.

قطعی‌های فراوانی هستند، از این رو ناتوانی در مدیریت و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها از عوامل عمده افزایش هزینه و زمان بندی اکثر پروژه‌ها معرفی شده است [۷]. روش‌های پیشین مدیریت و ارزیابی ریسک و عدم قطعیت (همچون فازی) [۸] در مدل‌سازی روابط بین متغیرهای ریسک توانایی لازم را ندارند [۹]. از طرف دیگر پروژه‌ها با توجه به اینکه منحصربه‌فرد، موقتی و همیشه شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌های مرتبط به هم هستند، درگیر انواع عدم قطعیت‌ها و ریسک‌ها می‌باشند. این عدم قطعیت‌ها باید طبق ویژگی‌های خاص هر حوزه از پروژه با ابزاری مناسب مدل شوند، زیرا مدل‌سازی دقیق‌تر عدم قطعیت‌ها شانس موفقیت پروژه را افزایش می‌دهد. در بین ابزارهای گوناگونی که برای مدل‌سازی عدم قطعیت در زمینه‌های مختلف مخصوصاً مدیریت پروژه به کار گرفته شده‌اند، شبکه‌های بیزین در دهه‌های اخیر کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند [۱۰]. شبکه بیزین عبارت است از گراف بدون دور جهت‌دار که گره‌ها، متغیرها و پیکان‌ها روابط علی بین آنها را نشان می‌دهند، سپس این روابط به کمک احتمالات ذهنی^۱ و یا داده‌های ثبت شده موجود^۲ آموزش داده می‌شوند [۱۱]. این شبکه‌ها بنابر اصول خاص خود به راحتی می‌توانند مدل‌سازی و استنتاج را به کمک داده‌های ناقص یا قضاوت افراد خبره^۳ انجام دهند، زیرا در مورد اکثر پروژه‌ها داده‌های بسیاری در دست نیست (چون منحصر به فرد هستند و یا دارای شرایط منحصربه‌فرد هستند). از آنجا که این روش روابط علی بین فاکتورهای مختلف ریسک را در نظر می‌گیرد، مدل‌هایی که ارائه می‌دهد به واقعیت بسیار نزدیک هستند [۱۲]. شناسایی ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها یکی از مراحل مهم مدل‌سازی به کمک این روش است [۱۳]، که شامل شناسایی عوامل ریسک و همچنین ارتباط منطقی علی بین آنها است. با توجه به اینکه استفاده از این شبکه‌ها در مدیریت پروژه در حال پیشرفت است [۱۴، ۱۰]، نیاز اساسی به مرور و طبقه بندی کارهای انجام شده در این زمینه تاکنون وجود داشت. در این تحقیق با یک مرور کیفی در مقالات ارائه شده: (۱) با بررسی کارهای گذشته ویژگی‌ها و شاخص‌های مهم مدل‌سازی به کمک شبکه‌های بیزین شناسایی شده‌اند. (۲) کاربرد این شبکه‌ها در حوزه‌های مختلف دانش مدیریت پروژه طبق استاندارد پم باک و الحاقیه صنعت ساخت مرور شده است [۱۵-۱۶]. قسمت‌های بعدی تحقیق شامل بررسی روش شبکه‌های بیزین و مرور ادبیات مقالات در زمینه‌های مدیریت پروژه طبق استاندارد مدیریت پروژه است. در این تحقیق سعی شده که اکثر مقالات معتبر شبکه‌های بیزین در زمینه‌های مرتبط با حوزه‌های مدیریت پروژه مرور شوند. نتایج مهم و کاربردی مقالات در جداولی بیان گردیده‌اند که مقایسه و تحلیل آنها فهم تحقیقات پیشین را تسهیل کرده است.

۲- شبکه‌های بیزین

این شبکه‌ها برای اولین بار سال ۱۹۷۰ در دانشگاه استنفورد معرفی شدند [۱۲]. محاسبات شبکه‌های بیزین برپایه تئوری بیز است که توسط توماس بیز (۱۷۰۲-۱۷۶۱) اثبات شد، و برای توزیع احتمالات گسسته^۴ و پیوسته^۵ بکار می‌رود. این شبکه‌ها را می‌توان ترکیب نظریه گراف و تئوری احتمالات دانست [۱۷]. تئوری بیز به صورت زیر بیان می‌شود:

گره‌های فرزند^۷: گره‌هایی هستند که پیکانهایی به آنها وارد و خارج می‌شوند. برای مثال e, b & d گره‌های فرزند هستند.

گره باقیمانده^۸: این گره گره‌ای است که هیچگونه فرزندی ندارد به عبارت دیگر پیکان به آن وارد می‌شود اما از آن خارج نمی‌شود. مثال بارز برای این گره، گره‌های f & g هستند.

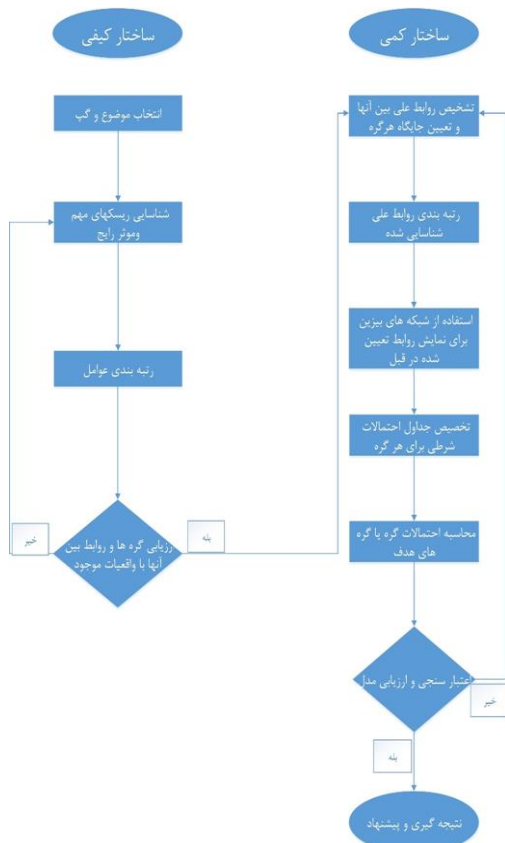
شبکه‌های بیزین از نظر نوع احتمالات و حالات گره می‌توانند شامل گره‌های گسسته، پیوسته و مرتبه‌ای^۹ [۳۰] باشند. گره‌های گسسته شامل دو یا چند حالت با احتمالات موضعی معلوم هستند، اما گره‌های پیوسته دارای توزیع احتمالات مربوطه هستند. گره‌های مرتبه‌ای نیز شامل طیف لیکرت برای بیان احتمالات گره از خیلی خوب تا خیلی ضعیف هستند، برای مشخص کردن میزان احتمال هر حالت در این گره‌ها می‌توان از توزیع نرمال ناقص^{۱۰} نیز استفاده کرد [۱۳]. به مدل‌هایی که از گره‌های پیوسته و گسسته توام استفاده کنند مدل‌های ترکیبی^{۱۱} می‌گویند. انتخاب اینکه از کدام نوع گره استفاده کنیم به ابزار (نرم افزار) که استفاده می‌کنیم بستگی دارد. به عنوان مثال در اکثر مقالاتی که از نرم افزار Agenarisk استفاده کرده‌اند امکان استفاده از انواع گره‌ها وجود داشته است. (اطلاعات بیشتر در مورد نرم افزارهای پرکاربرد در شبکه‌های بیزین در [۳۱] اشاره شده است). گره‌ها و پیکان‌ها در شبکه‌های بیزین که علت-اثر عوامل شناسایی شده را نشان می‌دهند، توالی‌های خاص و ثابتی دارند، که مهمترین آنها عبارتند از:

- توالی سری : این توالی چندین علت-اثر را نشان می‌دهد که زنجیروار بر یکدیگر اثر می‌گذارند. مثال عینی این توالی، توالی ceb است.
- توالی همگرا : این توالی عبارتست از یک گره که چندین پیکان به آن وارد می‌شوند همچون گره d که دو پیکان به آن وارد می‌شوند.
- توالی واگرا : در این توالی از یک گره چندین پیکان خارج می‌شوند و به گره‌های دیگر وارد می‌شوند. گره d نمونه‌ای از این توالی است.

امروزه برای مدلسازی عدم قطعیت در مباحث پیچیده و پویا و با مواردی که یک فرایند دائما در حال تکرار است می‌توان از رویکردهای نوین شبکه‌های بیزین، همچون شبکه‌های بیزین پویا [۳۲] و [۳۳] (که تغییرات مدل در گذر زمان را نشان می‌دهد) و یا شبکه‌های بیزین شی گرا [۳۴] و [۳۵] که برگرفته از مفاهیم برنامه نویسی شی گرا است استفاده شود. شبکه‌های بیزین شی گرا قابلیت مدلسازی مدل‌های پیچیده و با تعداد گره بسیار زیاد را دارند [۳۴]. مهم‌ترین مزیت‌های شبکه‌های بیزین نسبت به دیگر روش‌های ارزیابی ریسک که در ادبیات به آن اشاره شده است، عبارتند از:

- این شبکه‌ها قابلیت پیش بینی و تشخیص متغیرها را با توجه به نحوه اعمال مشاهدات دارند [۲۸].
- ارتباط و اثر متغیرها بر یکدیگر و ارتباطات سببی^{۱۲} بین آنها به راحتی قابل مدل شدن است و از این جهت بسیار با شرایط دنیای واقعی سازگار هستند [۲۸].
- یکپارچه سازی اطلاعات حاصل از خبره^{۱۳} و داده‌های تاریخی^{۱۴} بسیار راحت است. در این شبکه‌ها خبره به جای استفاده از داده‌های مشابه و قبلا ثبت شده می‌تواند قضاوت و اختصاص

احتمالات را به صورت ذهنی^{۱۵} انجام دهد که در این مورد مشکلاتی وجود دارد و هنوز معیار قابل اعتمادی برای ارزیابی قضاوت ذهنی وجود ندارد [۳۶]. برای بررسی ریسک و عدم قطعیت در مدیریت پروژه به کمک شبکه‌های بیزین لازم است که فرایندهای مدیریت ریسک استاندارد پم باک [۱۵] با این شبکه‌ها به صورت یکپارچه ادغام شوند. با توجه به چارچوب شکل ۲ این ترکیب قابل مشاهده است.



شکل ۲- چارچوب حاکم بر مقالات بررسی شده [۴۰]

چارچوب شکل ۲ در تمام مقالات بررسی شده رعایت شده است و برخی هم چون [۴۱] و [۴۲] در تحقیق خود به آن اشاره کرده‌اند و برخی اشاره خاصی به آن نکرده‌اند اما مراحل طی شده در تحقیق مطابق این چارچوب انجام شده است. به عنوان مثال در قسمت مولفه‌های کیفی ابتدا باید عوامل ریسک شناسایی شوند که این مرحله یکی از مهم ترین فرایندهای مدیریت ریسک استاندارد پم باک است. مبنای تحقیق برای تفکیک و بررسی کاربرد شبکه‌های بیزین در حوضه‌های مختلف مدیریت پروژه استاندارد مدیریت پروژه^{۱۶} (PMBOK) است [۱۵]. مطابق حوزه‌های مختلف استاندارد مدیریت پروژه تحقیقات گذشته به صورت زیر مرور شده‌اند.

۳- مرور شبکه‌های بیزین طبق حوزه‌های مختلف استاندارد مدیریت پروژه

۳-۱- مدیریت زمان بندی پروژه

مدیریت زمان‌بندی که در ویرایش قبلی استاندارد پم باک مدیریت زمان نام داشت، جزو حوزه‌هایی است که توجه بسیاری از محققین را برای مدل‌سازی عدم قطعیت به خود جلب کرده است. محققین [۴۰] با ارایه مدلی برای ارزیابی ریسک‌های زمان‌بندی پروژه‌های ساخت به نام ERIC-S^{۱۷} با استفاده از شبکه بیزین و شبیه ساز مونت کارلو مدت زمان‌های خوش بینانه و بدبینانه و محتمل فعالیتها را طبق ویژگی‌های پروژه تخمین زده‌اند این تحقیق آغازی بر در نظر گرفتن ارتباط بین عوامل ریسک و اثر آن بر زمان بندی پروژه به کمک این شبکه‌ها منتشر شده است، سپس [۱۰] با ارایه مدلی بر مبنای شبکه‌های بیزین و روش مسیر بحرانی^{۱۸} (CPM)، روش مسیر بیزین بحرانی، توانستند با در نظر گرفتن فرضیاتی روش مسیر بحرانی را از حالت قطعی به حالتی غیر قطعی تبدیل کنند و تمام مدت زمان‌ها به صورت توزیع‌های احتمالاتی بیان شده‌اند. به منظور افزایش دقت مدل‌سازی با شبکه‌های بیزین نویسندگان [۴۳] در جهت رفع محدودیت‌های ناشی از همبستگی متغیرها با یکپارچه سازی این شبکه‌ها و شبیه ساز مونت کارلو مدت زمان اتمام پروژه را محاسبه کرده‌اند. سپس [۴۱] با شناسایی عوامل ریسک موثر در تاخیر پروژه-های ساخت، و شناسایی روابط علی^{۱۹} بین آنها توانست احتمال آنکه پروژه چند برابر مدت زمان نهایی خود تاخیر خواهد داشت را بدست آورند. نویسندگان [۴۴] با ارایه مدلی متشکل از چهار گره، عدم قطعیت‌های موثر در تاخیرات را بررسی کردند و به کمک این مدل اثر تاخیرات بر افزایش هزینه‌های مستقیم نشان داده شده است. ریسک‌های موثر بر پروژه‌های ساخت شهری و روابط بین آنها برای محاسبه تاخیرات توسط نویسندگان [۴۵] شناسایی شده‌اند. [۱۴] نیز به مدل‌سازی عدم قطعیت در شبکه زمان‌بندی به کمک روش مسیر بحرانی پرداخت اما فقط مسیر رفت در نظر گرفته شده است. در این مدل وابستگی آماری بین رخداد فعالیتها به کمک شبکه‌های بیزین مدل شده است. تمامی مدل‌هایی که تاکنون بررسی شد محدودیت منابع را در نظر نگرفته بودند و صرفاً بر اساس شبکه‌های باور بیزین و قوانین احتمالات بودند که [۴۶] با ارایه مدلی توسعه یافته از مدل [۴۷] محدودیت منابع و عدم قطعیت فازی [۴۸] را با استفاده از شبکه‌های پویای بیزین مدل‌سازی کرده است. علاوه براین، موازنه هزینه-زمان به منظور حداکثر سازی ارزش خالص فعلی خالص^{۲۰} پروژه نیز در گام‌های بعدی اجرا شده است. در برخی از تحقیقات شبکه‌های بیزین برای کنترل پروژه و یکپارچه سازی با روش معروف ارزش کسب شده^{۲۱} بکار گرفته شده است که بیشتر هدف پیش بینی و استنباط هزینه و یا زمان آینده پروژه به کمک داده‌های تاریخی و مشابه بوده است. [۴۹] و [۵۰] رویکردی را ارایه کردند که با استفاده از استنتاج بیزین و یک منحنی مناسب سازی با استفاده از داده‌های اولیه پروژه به پیش بینی عملکرد پروژه پرداخته است. این رویکرد که روش منحنی تجمعی بتای بیزین^{۲۲} نام دارد، می‌تواند حین پیشرفت پروژه به راحتی داده‌های جدید را قبول و نتیجه گیری کند، و در مقایسه با روش‌های CPM^{۲۳}، EVM^{۲۴} و PERT^{۲۴} دقت مناسب‌تری داشت. [۵۱] پیش بینی مدت زمان فعالیت‌ها را با استفاده از ریسک‌های موثر و منابع اختصاص داده شده انجام داده است، این مدل نسبت به پرت دقت مناسب‌تری در پیش بینی مدت زمان پروژه داشت. محققین [۵۲] با توسعه شبکه‌های

بیزین و روش پرت، مدل پرت بیزین^{۲۵} را ارایه کرده‌اند. این مدل با بهره گیری از ویژگی‌های شبکه‌های بیزین بسیاری از محدودیت‌های روش پرت را بهبود بخشیده است. [۵۳] و [۵۴] با استفاده از یکپارچه‌سازی بر مبنای شبکه‌های بیزین با در نظر گرفتن کار انجام شده در پروژه، اطلاعات مربوط به پروژه‌های مشابه گذشته و قضاوت خبره، زمان و هزینه اتمام پروژه‌ها را تخمین زده‌اند. نویسندگان [۴۲] رویکردی جدید و ابتکاری برای موازنه هزینه-زمان فعالیت‌های پروژه‌های ساخت بر مبنای شبکه‌های بیزین ارایه کرده‌اند. این مدل هزینه و زمان فعالیت‌ها را در چندین حالت از جمله حالت سریع^{۲۶} بررسی کرده است.

این مدل بسیار ساده و طبق اصول پیشنهادی فعالیت‌ها بوده که اثر آیت‌های هزینه نیز بر آنها اعمال شده است. این رویکرد کمک بسیاری می‌کند که مقادیر بهینه هزینه و زمان قابل دسترسی باشند. [۵۵] مدت زمان اتمام یک پروژه پیچیده حفاری زیر زمینی را به کمک به هنگام سازی بیزین در طول مدت پروژه به صورت مداوم تخمین زده‌اند. این کار به کمک داده‌های فعالیت‌های انجام شده و پروژه‌های قبلی انجام شده است. [۵۶] با بررسی ریسک‌های زمان بندی و هزینه پروژه‌های بزرگ دو مدل بر حسب مقیاس پروژه ها برای محاسبه میزان افزایش زمان و هزینه ارایه دادند. از نتایج این مدل‌ها در صنایع کشتی سازی استفاده شده است. [۵۷] با کمک رویکرد بیزین در مدل ارایه داده توانستند که مدت زمان تحویل اقلام حساس پروژه را به دقت تخمین زنند. [۵۸] با شناسایی ریسک‌های اثر گذار بر پروژه‌های یک پورتفولیو در صنعت نفت و گاز میزان تاخیر زمان بندی کل پورتفولیو نسبت به زمان اولیه آن محاسبه شده است.

جدول ۱- مشخصات حوزه مدیریت زمان‌بندی طبق مرور ادبیات

نرم افزار	روش زمان‌بندی	روش یادگیری	مرجع
-	CPM & PERT	دانش خبره و داده های ثبت شده	[۴۰]
-	-	دانش خبره و داده های ثبت شده	[۵۷]
Agenarisk	CPM	دانش خبره و داده های ثبت شده	[۱۰]
MSBNX (Microsoft Bayesian belief network)	-	خبره	[۴۳]
-	-	دانش خبره و داده های ثبت شده	[۴۹]
-	PERT	خبره	[۵۱]
GeNie	-	خبره	[۵۶]
Microsoft Bayesian belief network(MSBNX)	-	خبره	[۴۱]
-	-	خبره	[۴۴]
-	PERT	خبره	[۵۲]
-	CPM	داده‌های از پیش ثبت شده	[۵۵]
Agenarisk	PERT & CPM	خبره	[۱۴]
MATLAB	-	خبره	[۴۵]
Agenarisk	CPM	خبره	[۴۶]
-	CPM	دانش خبره و داده های ثبت شده	[۴۲]
MSBNX	-	خبره	[۵۸]

۳-۲- مدیریت هزینه پروژه

روش ارزش کسب شده بی شک یکی از ساده ترین و پرکاربردترین روش های اندازه گیری عملکرد پروژه ها است [۵۹] [۶۰] اما عدم قطعیت را در نظر نمی گیرد و داده ها به صورت قطعی در نظر گرفته می شوند. در [۹] با انتخاب دو مورد از مهم ترین و معمول ترین عامل های عدم قطعیت موثر بر هزینه های برنامه ریزی شده و حقیقی پروژه ها و مدلسازی آن به کمک شبکه های بیزین، پارامترها و شاخص های ارزش کسب شده به صورت توزیع های احتمالی بیان شده اند. [۳۳] با توسعه چارچوب مدلی با شبکه های بیزین پویا منافع، هزینه و نرخ بازگشت سرمایه برای یک پروژه توسعه کشاورزی با سناریوهای مختلف را در بازه زمانی مشخص بررسی کرده اند. در [۳۸] با مرور ادبیات، طوفان فکری و مصاحبه فاکتورهای ریسک موثر بر هزینه و زمان، جریان نقدینگی، شناسایی و روابط علی بین عوامل مشخص شده اند. اثر این عوامل بر یکدیگر و بر هزینه و زمان (جریان نقدی) فعالیت های پروژه مورد مطالعاتی لحاظ شده است. [۲۸] احتمال افزایش هزینه پروژه های زیرساخت را به کمک این شبکه ها مدلسازی کرده اند. برای این مدل مراحل مختلف (امکان سنجی، طراحی و...) پروژه های زیر ساخت در نظر گرفته شد و برای اولین بار از مسیرهای رتبه بندی^{۲۷} از لحاظ عدم قطعیت استفاده شده است. [۶۱] با در نظر گرفتن عوامل اثر گذار بر انتخاب روش ساخت پروژه و تاکید بر فاکتور هزینه، مدلی بر مبنای شبکه های بیزین برای محاسبه احتمال پذیرش یکی از سه قرارداد DBB^{۲۸}, DB^{۲۹} & CM/GC^{۳۰} را با استنتاج بیزینی ارائه کرده اند. نویسندگان [۶۲] هزینه های نگهداری بزرگراه را با استفاده از دو مازول بر مبنای شبکه های بیزین و شبیه ساز مونت کارلو پیش بینی کرده اند. به کمک این مدل تصمیم گیری قراردادهای پیشنهادی مختلف بررسی و مولفه های آنها باهم موازنه می شوند. [۳۹] با بررسی و توسعه چارچوب ارائه شده توسط [۶۳] برای شناسایی پیچیدگی های پروژه و ریسک های ناشی از این پیچیدگی ها مدلی پیشنهاد داده اند. این مدل اثر ریسک ها بر مشخصات پروژه بویژه هزینه را در مراحل نخست پروژه به صورت کمی نشان داده است.

جدول ۲- مشخصات حوزه مدیریت هزینه طبق مرور ادبیات

نرم افزار	روش اعتبار سنجی مدل	روش یادگیری مدل	مرجع
GeNle	—	خبره	[۶۲]
Bayesia lab	k-fold cross validation	داده های از پیش ثبت شده	[۶۱]
Agenarisk	سناریو	خبره	[۹]
Agenarisk	سناریو	خبره	[۳۳]
GeNle	تحلیل حساسیت	خبره	[۳۹]
Netica	—	خبره	[۳۸]
Agenarisk	تحلیل حساسیت	خبره	[۲۸]

۳-۳- مدیریت کیفیت پروژه

با توجه به ناکامی های زیادی که در تحویل پروژه ها مخصوصا پروژه های R&D بر اساس هزینه و زمان بندی برنامه ریزی شده وجود داشت [۶۴]، [۶۵] اثر مشخصه های پروژه همچون هزینه، زمان بندی، منابع و کیفیت فرایندها را بر اساس روابطی که بین این مشخصه ها

در نظر گرفته بودند بر عملکرد و کیفیت پروژه اندازه گیری کرده اند. در این مدل موازنه بین این مشخصه ها به سادگی انجام شده است.

جدول ۳- مشخصات حوزه مدیریت کیفیت طبق مرور ادبیات

نرم افزار	روش اعتبار سنجی مدل	روش یادگیری مدل	مرجع
Agenarisk	سناریو	خبره	[۶۵]

۴-۳- مدیریت منابع پروژه

منابع پروژه مخصوصا منابع انسانی یکی از با ارزش ترین منابع در هر پروژه های هستند، و این منابع از لحاظ شغل وموقعیتی که دارند، در پروژه های مختلف همواره در معرض انواع خطرات محیطی بالقوه و خطرناک قرار می گیرند. عمده این خطرات ناشی از عدم قطعیت هایی است که در محیط پیرامون فرد در پروژه قرار دارند [۶۶]. تعداد حوادث متوجه فرد در محیط کار را با توجه به شدت این حوادث و ویژگی ها و مشخصات ایمنی صنعت مورد ارزیابی قرار داده اند [۶۷]. نویسندگان [۶۸] با بررسی داده های مربوط به ساخت سدها و تعمیر آنها و همچنین حفاری معادن و داده کاوی^{۳۱} در داده های مربوطه ۲۳ مشخصه مهم را یافتند و سپس به ۱۴ عامل بسیار مهم کاهش داده شدند، و در نهایت با ارایه مدلی به کمک شبکه های بیزین و مشخص کردن روابط علت-اثر، رایج ترین نوع تصادفات در محیط کار تشخیص داده شده اند. محققین [۶۹] با جمع آوری عوامل مهم موثر در ایمنی ارتفاع و شناسایی ارتباط بین آنها مدلی کلی با قابلیت سفارشی سازی متغیرها ارائه داده اند. آنها این مدل را با کمی تغییر بر برخی مراحل فاز ساخت یک هتل ۵ ستاره پیاده کرده اند. پژوهشگران [۷۰] رفتار ایمنی کارکنان در یک محیط ساخت را به کمک این شبکه ها شبیه سازی کرده اند و طبق آن استراتژی های لازم برای کاهش تلفات ایمنی استخراج و ارایه شده است. معیارهای موثر بر عملکرد کارمندان سطح متوسط توسط [۷۱] شناسایی شده اند و سپس روابط بین آنها به کمک همبستگی سنجیده شدند. سپس این روابط به کمک شبکه های بیزین مدلسازی شدند و با نتایج موجود حاصل از متدهایی چون تحلیل سلسله مراتبی فازی^{۳۲}، ویکور^{۳۳} و تاپسیس^{۳۴} مقایسه شده اند و در این مقایسه شبکه های بیزین از هر جهت برتری خود را نشان داده است. در [۷۲] به کمک شبکه های بیزین خطرات محیط و اثرات این خطر بر رفتار انسان و همچنین برعکس آن را ارایه شده است. در [۷۳] مهم ترین علل ایجاد صدمات شغلی در حفاری معدن انتخاب شده اند و رویکردی بیزین برای کمک به مدیران برای تصمیم گیری ارایه داده اند. آنها در این مدل نشان داده اند که احتیاط (توجه) کارکنان در این امر عامل بسیار مهمی است. در موردی دیگر [۷۴]، مدلسازی بین متغیرهای موثر در سقوط کارکنان از ارتفاع را با تکنیک شبکه های بیزین ارایه کرده اند. تمرکز آنها در این مدل به سقوط از دریا و داربست متوجه بوده است، که در نهایت آموزش و کسب مهارت پیش از شروع کار مهمترین متغیرها معرفی شده اند.

۳-۵- مدیریت ریسک پروژه

همانطور که در متن بالا اشاره شد برای بررسی عدم قطعیت در تمام حوضه های دانش به کمک شبکه های بیزین نیاز به استفاده از فرایندهای مدیریت ریسک داریم. اما در برخی از مقالات، شبکه های

بیزین صرفا برای مدلسازی ریسک استفاده شده‌اند و آنها در این دسته قرار داده شده‌اند. محققان [۷۶] مدلی برای تصمیم‌گیری به کمک شبکه‌های بیزین ارائه داده‌اند که میزان ریسک‌های یکپارچگی پروژه را اندازه‌گیری و آرایه کرده است.

جدول ۴- مشخصات حوزه مدیریت منابع طبق مرور ادبیات			
نرم افزار	روش اعتبارسنجی مدل	روش یادگیری مدل	مرجع
Netica	—	خبره	[۷۴]
—	سناریو	خبره	[۶۷]
GeNIe	سناریو	دانش خبره و داده‌های ثبت شده	[۶۸]
MATLAB	تحلیل حساسیت	خبره	[۶۹]
—	تحلیل حساسیت	خبره	[۷۰]
—	—	خبره	[۷۲]
Netica	خبره	خبره	[۷۱]
—	—	خبره	[۷۳]
—	—	خبره	[۷۵]

این مدل برای یک پروژه انتقال آب در چین استفاده شد و تخمین‌های بسیار دقیقی داشت. [۷۷] ریسک‌های یک پورتفولیو را با توجه به اثرات مداخلات فنی به عنوان عامل مهم ایجاد کننده ریسک در یک پورتفولیو ارزیابی کرده‌اند، سپس نویسندگان [۷۸] مدل نویسندگان [۷۷] را با رویکردی پایدار توسعه داده و ریسک کلی یک پورتفولیو را بر اساس فاکتورهای ریسک موثر در سطح کلان (پورتفولیو) و در سطح خرد (پروژه) محاسبه کرده‌اند. در [۷۹] احتمال ریسک در قرارداد مشارکت عمومی- خصوصی محاسبه شده است، آنها در این مدل داده‌های جدید حاصل از مشاهدات را وارد مدل خود کرده و نتایج دقیق‌تری از مدل بدست آورده‌اند.

جدول ۵- مشخصات حوزه مدیریت ریسک طبق مرور ادبیات			
نرم افزار	روش اعتبارسنجی مدل	روش یادگیری مدل	مرجع
—	سناریو	خبره	[۷۶]
MATLAB	—	خبره	[۷۷]
GeNIe	خبره	خبره	[۷۸]
—	خبره	دانش خبره و داده‌های ثبت شده	[۷۹]

۳-۶- مدیریت تدارکات پروژه

[۸۰] مدلی ترکیبی (بیزین، فازی و نظریه بازی) و جامع برای مذاکره تدارکات مصالح بین پیمانکار و فروشنده ارائه داده‌اند. شبکه‌های بیزین چون می‌توانند در شرایط فقدان و کمبود داده و اطلاعات [۲۹] به خوبی عمل و استنتاج کنند، به همین سبب در چنین شرایطی که اطلاعات کمی در مورد فروشنده و نوع استراتژی او در دست است بسیار کاربردی هستند.

جدول ۶- مشخصات حوزه مدیریت تدارکات طبق مرور ادبیات			
نرم افزار	روش اعتبارسنجی مدل	روش یادگیری مدل	مرجع
Agenarisk	سناریو	خبره	[۸۰]

۳-۷- مدیریت ذی‌نفعان

برای حداقل و متعادل کردن انتظارات متناقض بین سه ذی‌نفع اصلی در قراردادهای PPP (کاربر نهایی، بخش خصوصی، دولت) در مرحله امکان‌سنجی (فاز صفر) مدلی ارائه شده است [۸۱]. شبکه‌های بیزین در این مدل میزان رضایت نسبی هریک از ذی‌نفعان از طرح مشارکت را توسط استنباط بیزینی محاسبه و نشان داده است. تصمیم‌گیرندگان بر مبنای میزان رضایت، بهترین راه‌حل مناسب را می‌توانستند پیشنهاد دهند.

جدول ۷- مشخصات حوزه مدیریت ذی‌نفعان طبق مرور ادبیات			
نرم افزار	روش اعتبارسنجی مدل	روش یادگیری مدل	مرجع
MATLAB	—	خبره	[۸۱]

۴- تحلیل نتایج و پیشنهاد

مطابق آنچه که از بررسی مجلات و سایت‌های معتبر علمی استنباط می‌شود کاربرد شبکه‌های بیزین در مدیریت پروژه بسیار محدود و نوپا می‌باشد، از مهمترین دلایل این امر می‌توان به نبود ابزار مناسب و قوی برای مدل‌سازی و الگو ریتیمهای مناسب برای غلبه بر پیچیدگی‌های مدل‌های قابل آرایه اشاره کرد. طبق نمودارهای آرایه شده در شکل ۳ می‌توان دریافت که داده‌های اکثر مقالات به صورت گسسته (۲۶٪) هستند که گسسته‌سازی داده‌ها طبق گفته [۱۳] دارای محدودیت‌هایی است، در حالی که با احتساب مدل‌های ترکیبی حدود ۱۲٪ مدل‌ها از متغیرهای پیوسته استفاده کرده‌اند. اکثر مدل‌های آرایه شده (۱۶٪) فاقد اعتبار سنجی (داخلی) بودند، و از بین مقالات اعتبار سنجی شده تحلیل حساسیت و سناریو بیشترین کاربرد را داشته است. برای آموزش شبکه نیز دانش و قضاوت خبره تاکنون رایج‌ترین روش یادگیری مدل بوده است، فراوانی استفاده از این روش یادگیری کارایی آن را نسبت به دیگر روش‌ها نشان می‌دهد. تقریباً تمامی مقالات بررسی شده دارای مدل گرافیکی بودند، این مدل‌های گرافیکی به راحتی در نرم‌افزارهای مربوطه قابل ترسیم هستند، هر چند بسیاری از مقالات به نرم‌افزار مورد استفاده اشاره نکرده بودند اما در بین نرم‌افزارهای موجود Agenarisk بیشترین کاربرد را داشته است. از دلایل محبوبیت این نرم‌افزار می‌توان به رابط گرافیکی قوی، قابلیت مدل‌سازی متغیرهای گسسته و پیوسته، مدل‌های ترکیبی (گسسته و پیوسته)، و انجام تحلیل حساسیت و سناریو اشاره کرد [۹].

مطابق با استاندارد مدیریت پروژه و الحاقیه صنعت ساخت [۱۶]، این شبکه‌ها در برخی از حوزه‌های دانشی و زیر مجموعه آن تاکنون استفاده نشده‌اند. برخی از این حوضه‌ها عبارتند از:

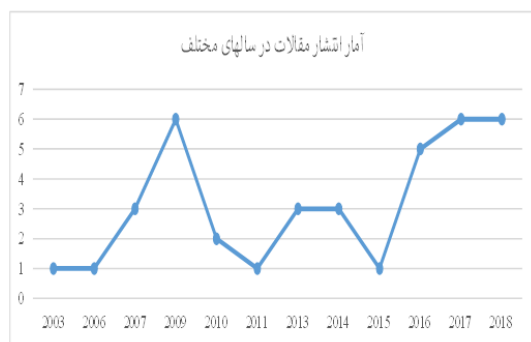
- مدیریت یکپارچگی پروژه
- مدیریت گستره پروژه
- مدیریت ارتباطات پروژه

دیگر زمینه‌های مرتبط با مدیریت پروژه که شبکه‌های بیزین کاربرد خواهند داشت، عبارتند از:

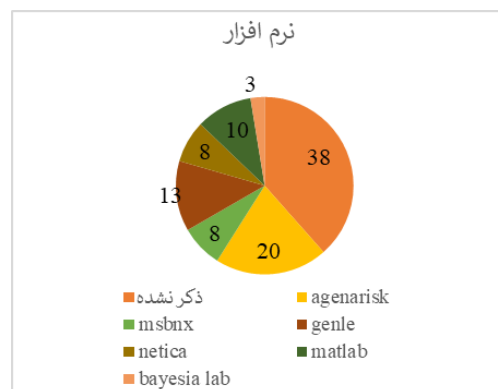
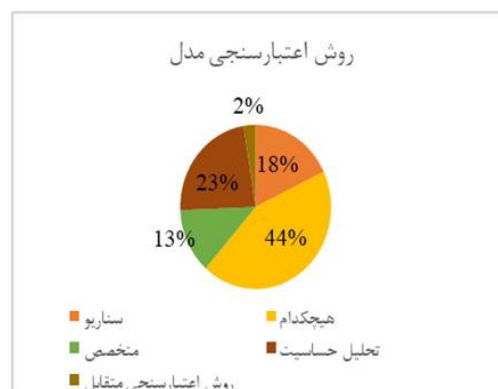
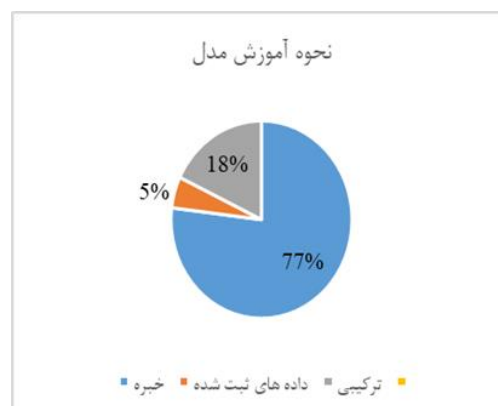
- مدیریت دعاوی ذی‌نفعان

- مدیریت ریسک در انواع قراردادهای ساخت (EPC, BOT, DB, PPP, ...)
- استفاده از شبکه‌های بیزین برای ارایه استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های مدیریت پروژه
- تلفیق شبکه‌های بیزین با دیگر روش‌های موجود (فازی، مونت-کارلو و ...) برای استفاده از نقاط قوت چند روش به صورت همزمان.

نشان داد. هم چنین میزان خزش گستره در هر فاز پروژه را اندازه‌گیری کرد. از طرف دیگر در تحقیقات بررسی شده طبق شکل ۴ استفاده از گره‌های گسسته بسیار شایع بوده است، برای افزایش دقت مدل‌های پیشین، در آینده می‌توان از گره‌های پیوسته استفاده کرد. هم چنین برای در نظر گرفتن اثرات زمان بر متغیرهای مدل می‌توان از شبکه‌های بیزین پویا استفاده کرد، در ضمن برای شبکه‌های پیچیده می‌توان مدلسازی را با شبکه‌های بیزین شی گرا انجام داد.



شکل ۴- نمودار نشان دهنده میزان تحقیقات در زمینه مدیریت پروژه و ریسک



شکل ۳- نمودارهای نشان دهنده میزان وجود مشخصات استخراج شده در مقالات

در تمام مباحث مرتبط با عدم قطعیت‌های حوزه‌های فوق می‌توان از چارچوب ارایه شده در شکل ۲ استفاده کرد و مدل‌سازی مناسبی انجام داد، برای مثال در زمینه مدیریت گستره می‌توان عوامل موثر در خزش گستره را شناسایی و ارتباط بین آنها را مدل کرد یا اثر خزش محدوده بر افزایش هزینه‌های پروژه (مستقیم و غیرمستقیم) را

علاوه بر این، تحقیقات آینده می‌توانند به مدلسازی ریسک‌ها در سطح کلان همچون طرح‌ها و برنامه‌ها بپردازند. در زمینه مدیریت منابع پروژه به جنبه‌های انسانی و ایمنی منابع انسانی در مقالات گذشته اشاره شده است، اما به مباحثی همچون پیش‌بینی منابع، ارزیابی منابع و تسطیح منابع به کمک شبکه‌های بیزین اشاره‌ای نشده است. تقریباً تمامی مدل‌های شبکه‌های بیزین در مدیریت پروژه بررسی شده‌اند و تمامی آنچه که تاکنون ذکر نشده به عنوان خلا پژوهشی قابل پیگیری است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی تحقیقات گذشته در زمینه کاربرد شبکه‌های بیزین در مدیریت پروژه‌های ساخت، چارچوب کلی حاکم بر نحوه استفاده از این شبکه‌ها برای تحلیل و مدیریت ریسک در پروژه شناسایی شده است. جزییات کامل استفاده از این شبکه‌ها با بررسی‌های عمیق‌تر در جداول مربوط به هر حوزه دانش ارایه و مهم‌ترین پارامترهای مدلسازی در شبکه‌های بیزین نمایش داده شده‌اند. فقدان اطلاعات جامع در فازهای اولیه پروژه که مدیران و تصمیم‌گیرندگان تصمیمات مهم در مورد برنامه‌ریزی پروژه را اتخاذ می‌کنند، استفاده از افراد، تیم‌های خبره و همچنین پیش‌بینی، نتیجه‌گیری توسط داده‌های ناقص را امری اجتناب‌ناپذیر کرده است. شبکه‌های بیزین به راحتی می‌توانند مدلسازی و استنتاج خود را با استفاده از اطلاعات ناقص و افراد خبره یا داده‌های تاریخی و یا ترکیبی از تمامی این حالات انجام دهند. علاوه بر این، در شبکه‌های بیزین منبع عدم قطعیت شناسایی می‌شود و سپس ارتباط آن با دیگر عوامل عدم قطعیت موجود بررسی می‌گردد و مطابق آن، پاسخ به ریسک مناسب می‌توان پیش‌بینی کرد و بین پارامترهای مختلف مدل موازنه انجام داد. طبق مرور تحقیقات گذشته تمامی حوزه‌های مدیریت پروژه

- [23] Y. Hu, X. Zhang, E. Ngai, R. Cai, M. Liu, Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints, *Decision Support Systems*, 56 (2013) 439-449.
- [24] P. Trucco, E. Cagno, F. Ruggeri, O. Grande, A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation, *Reliability Engineering & System Safety*, 93(6) (2008) 845-856.
- [25] S. Tesfamariam, Z. Liu, Seismic risk analysis using Bayesian belief networks, in: *Handbook of seismic risk analysis and management of civil infrastructure systems*, Elsevier, 2013, pp. 175-208.
- [26] J. Zhu, A. Deshmukh, Application of Bayesian decision networks to life cycle engineering in Green design and manufacturing, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(2) (2003) 91-103.
- [27] V. Adriaenssens, P. Goethals, J. Charles, N. De Pauw, Application of Bayesian Belief Networks for the prediction of macroinvertebrate taxa in rivers, in: *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, EDP Sciences, 2004, pp. 181-191.
- [28] N. Xia, X. Wang, Y. Wang, Q. Yang, X. Liu, Lifecycle cost risk analysis for infrastructure projects with modified Bayesian networks, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 15(1) (2017) 79-103.
- [29] S.H. Chen, C.A. Pollino, Good practice in Bayesian network modelling, *Environmental Modelling & Software*, 37 (2012) 134-145.
- [30] N.E. Fenton, M. Neil, J.G. Caballero, Using ranked nodes to model qualitative judgments in Bayesian networks, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 19(10) (2007) 1420-1432.
- [31] M.A. Mahjoub, K. Kalti, Software comparison dealing with bayesian networks, in: *International Symposium on Neural Networks*, Springer, 2011, pp. 168-177.
- [32] X. Wu, H. Liu, L. Zhang, M.J. Skibniewski, Q. Deng, J. Teng, A dynamic Bayesian network based approach to safety decision support in tunnel construction, *Reliability Engineering & System Safety*, 134 (2015) 157-168.
- [33] B. Yet, A. Constantinou, N. Fenton, M. Neil, E. Luedeling, K. Shepherd, A Bayesian network framework for project cost, benefit and risk analysis with an agricultural development case study, *Expert Systems with Applications*, 60 (2016) 141-155.
- [34] D. Koller, A. Pfeffer, Object-oriented Bayesian networks, in: *Proceedings of the Thirteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1997, pp. 302-313.
- [35] O. Bangsø, P.-H. Willemin, Object Oriented Bayesian Networks: A framework for top-down specification of large Bayesian networks with repetitive structures, (2000).
- [36] D. Prelec, A Bayesian truth serum for subjective data, *science*, 306(5695) (2004) 462-466.
- [37] Y. Zhou, N. Fenton, C. Zhu, An empirical study of Bayesian network parameter learning with monotonic influence constraints, *Decision Support Systems*, 87 (2016) 69-79.
- [38] M. Khanzadi, E. Eshtehardian, M. Mokhelepour Esfahani, Cash flow forecasting with risk consideration using Bayesian Belief Networks (BBNS), *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(8) (2017) 1045-1059.
- [39] A. Qazi, J. Quigley, A. Dickson, K. Kiriopoulou, Project Complexity and Risk Management (ProCRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects, *International Journal of Project Management*, 34(7) (2016) 1183-1198.
- [40] D. Nasir, B. McCabe, L. Hartono, Evaluating risk in construction-schedule model (ERIC-S): construction schedule risk model, *Journal of construction engineering and management*, 129(5) (2003) 518-527.
- [41] S.-Y. Kim, N. Van Tuan, S.O. Ogunlana, Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks, *International Journal of Project Management*, 27(1) (2009) 39-50.
- [42] M. Ghosh, G. Kabir, M.A.A. Hasin, Project time-cost trade-off: a Bayesian approach to update project time and cost estimates, *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 12(3) (2017) 206-215.
- [43] J.F.O. Arizaga, A methodology for project risk analysis using Bayesian belief networks within a Monte Carlo simulation environment, *University of Maryland, College Park*, 2007.
- [44] J. Liu, Bayesian network inference on risks of construction schedule-cost, in: *2010 International Conference of Information Science and Management Engineering*, IEEE, 2010, pp. 15-18.
- [45] E. Eshtehardian, S. Khodaverdi, A Multiply Connected Belief Network approach for schedule risk analysis of metropolitan

شامل عدم قطعیت هستند و مدل سازی این ریسک ها در حوزه هایی که از این روش استفاده کرده اند نتایج بسیار مفید و کاربردی ارائه داده است. بکارگیری این روش مدل سازی در زمینه های باقیمانده نیز می تواند مدل های کاربردی و دقیقی ارائه دهد.

۶- مراجع

- [1] A. Mishra, S.R. Das, J.J. Murray, Risk, process maturity, and project performance: An empirical analysis of US federal government technology projects, *Production and Operations Management*, 25(2) (2016) 210-232.
- [2] C. Chapman, S. Ward, Why risk efficiency is a key aspect of best practice projects, *International Journal of Project Management*, 22(8) (2004) 619-632.
- [3] S.D. Green, Towards an integrated script for risk and value management, *International Project Management Journal*, 7(1) (2001) 52-58.
- [4] S.C. Ward, C.B. Chapman, Risk-management perspective on the project lifecycle, *International Journal of Project Management*, 13(3) (1995) 145-149.
- [5] P. Rezakhani, Classifying key risk factors in construction projects, *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 58(2) (2012) 27.
- [6] C.-Y. Lee, H.-Y. Chong, P.-C. Liao, X. Wang, Critical review of social network analysis applications in complex project management, *Journal of Management in Engineering*, 34(2) (2017) 04017061.
- [7] S.L. Savage, The Flaws of Averages: Why We Underestimate Risk in the Face of Uncertainty, in, Wiley, Hoboken, New Jersey, 2009.
- [8] I. Dikmen, M.T. Birgonul, S. Han, Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects, *International Journal of Project Management*, 25(5) (2007) 494-505.
- [9] V. Khodakarami, A. Abdi, Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items, *International Journal of Project Management*, 32(7) (2014) 1233-1245.
- [10] V. Khodakarami, N. Fenton, M. Neil, Project Scheduling: Improved approach to incorporate uncertainty using Bayesian Networks, *Project Management Journal*, 38(2) (2007) 39-49.
- [11] D.C. Yu, T.C. Nguyen, P. Haddawy, Bayesian network model for reliability assessment of power systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 14(2) (1999) 426-432.
- [12] B. McCabe, S.M. AbouRizk, R. Goebel, Belief networks for construction performance diagnostics, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(2) (1998) 93-100.
- [13] N. Fenton, M. Neil, Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks, Crc Press, 2012.
- [14] I.C. Nduka, Modeling project schedule uncertainty due to a programmatic risk factor using bayesian networks, *The George Washington University*, 2015.
- [15] I. Project Management, A guide to the project management body of knowledge : (PMBOK® guide), Project Management Institute, Newtown Square, Pennsylvania, USA, 2018.
- [16] I. Project Management, Construction extension to the PMBOK guide, (2016).
- [17] B. Efron, Bayesians, frequentists, and scientists, *Journal of the American Statistical Association*, 100(469) (2005) 1-5.
- [18] W. Wiegand, B. Kappen, W. Burgers, Bayesian Networks for Expert Systems: Theory and Practical Applications, in: R. Babuška, F.C.A. Groen (Eds.) *Interactive Collaborative Information Systems*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 547-578.
- [19] S. Lu, D. Wu, S.-c. Lu, H.-p. Zhang, A Bayesian network model for the Asian Games fire risk assessment, in: *Proceedings of International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, IEEE, 2011, pp. 350-355.
- [20] P. Antal, G. Fannes, D. Timmerman, Y. Moreau, B. De Moor, Bayesian applications of belief networks and multilayer perceptrons for ovarian tumor classification with rejection, *Artificial intelligence in medicine*, 29(1-2) (2003) 39-60.
- [21] H. Huang, M. Abdel-Aty, Multilevel data and Bayesian analysis in traffic safety, *Accident Analysis & Prevention*, 42(6) (2010) 1556-1565.
- [22] C.E. Kahn Jr, L.M. Roberts, K.A. Shaffer, P. Haddawy, Construction of a Bayesian network for mammographic diagnosis of breast cancer, *Computers in biology and medicine*, 27(1) (1997) 19-29.



5 (1), 2020

دوره ۵، شماره ۱

بهار ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی



شبکه های بزرگ، رویکردی نوین برای مدل سازی عدم قطعیت ها در مدیریت پروژه های ساخت

- [65] M. Fineman, N. Fenton, L. Radlinski, Modelling project trade-off using Bayesian networks, in: Computational Intelligence and Software Engineering, 2009. CiSE 2009. International Conference on, IEEE, 2009, pp. 1-4.
- [66] L.R. Gomez-Mejia, D.B. Balkin, R.L. Cardy, Managing human resources, Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 2007.
- [67] C. D'Elia, F. De Felice, P. Mariano, A. Petrillo, S. Ruscino, A bayesian network analysis for safety management, 2013.
- [68] S. Gerassisi, J. Martín, J.T. García, A. Saavedra, J. Taboada, Bayesian decision tool for the analysis of occupational accidents in the construction of embankments, Journal of construction engineering and management, 143(2) (2016) 04016093.
- [69] L.D. Nguyen, D.Q. Tran, M.P. Chandrawinata, Predicting safety risk of working at heights using Bayesian networks, Journal of Construction Engineering and Management, 142(9) (2016) 04016041.
- [70] I. Mohammadfam, F. Ghasemi, O. Kalatpour, A. Moghimbeigi, Constructing a Bayesian network model for improving safety behavior of employees at workplaces, Applied ergonomics, 58 (2017) 35-47.
- [71] G. Kabir, R.S. Sumi, R. Sadiq, S. Tesfamariam, Performance evaluation of employees using Bayesian belief network model, International Journal of Management Science and Engineering Management, 13(2) (2018) 91-99.
- [72] X. Luo, H. Li, F. Dai, D. Cao, X. Yang, H. Guo, Hierarchical Bayesian Model of Worker Response to Proximity Warnings of Construction Safety Hazards: Toward Constant Review of Safety Risk Control Measures, Journal of Construction Engineering and Management, 143(6) (2017) 04017006.
- [73] F. Yaşlı, B. Bolat, A Bayesian Network Analysis for Occupational Accidents of Mining Sector, in: The International Symposium for Production Research, Springer, 2018, pp. 781-799.
- [74] J.E. Martin, T. Rivas, J. Matías, J. Taboada, A. Argüelles, A Bayesian network analysis of workplace accidents caused by falls from a height, Safety Science, 47(2) (2009) 206-214.
- [75] P.-C. Liao, H. Shi, Y. Su, X. Luo, Development of Data-Driven Influence Model to Relate the Workplace Environment to Human Error, Journal of Construction Engineering and Management, 144(3) (2018) 04018003.
- [76] H. Xiaocong, K. Ling, A risk management decision support system for project management based on bayesian network, in: 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering, IEEE, 2010, pp. 308-312.
- [77] D. Guan, K.W. Hipel, L. Fang, P. Guo, Assessing project portfolio risk based on Bayesian network, in: 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), IEEE, 2014, pp. 1546-1551.
- [78] F. Ghasemi, M. Sari, V. Yousefi, R. Falsafi, J. Tamošaitienė, Project portfolio risk identification and analysis, considering project risk interactions and using Bayesian Networks, Sustainability, 10(5) (2018) 1609.
- [79] L. Wang, X. Zhang, Bayesian Analytics for Estimating Risk Probability in PPP Waste-to-Energy Projects, Journal of Management in Engineering, 34(6) (2018) 04018047.
- [80] S.-S. Leu, P.V.H. Son, P.T.H. Nhung, Hybrid bayesian fuzzy-game model for improving the negotiation effectiveness of construction material procurement, Journal of Computing in Civil Engineering, 29(6) (2014) 04014097.
- [81] J. Xie, S. Thomas Ng, Multiobjective Bayesian network model for public-private partnership decision support, Journal of Construction Engineering and Management, 139(9) (2013) 1069-1081..
- construction projects, Civil Engineering and Environmental Systems, 33(3) (2016) 227-246.
- [46] P. Rezakhani, Hybrid Fuzzy-Bayesian Dynamic Decision Support Tool for Resource-Based Scheduling of Construction Projects, University of Missouri--Kansas City, 2017.
- [47] V. Khodakarami, Applying Bayesian networks to model uncertainty in project scheduling, 2009.
- [48] L.A. Zadeh, Fuzzy sets, Information and control, 8(3) (1965) 338-353.
- [49] P. Gardoni, K.F. Reinschmidt, R. Kumar, A probabilistic framework for Bayesian adaptive forecasting of project progress, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22(3) (2007) 182-196.
- [50] B.-c. Kim, K.F. Reinschmidt, Probabilistic forecasting of project duration using Bayesian inference and the beta distribution, Journal of Construction Engineering and Management, 135(3) (2009) 178-186.
- [51] S. Cho, A linear Bayesian stochastic approximation to update project duration estimates, European Journal of Operational Research, 196(2) (2009) 585-593.
- [52] J. Yong, Z. Zhigang, The project schedule management model based on the program evaluation and review technique and Bayesian networks, in: Automation and Logistics (ICAL), 2011 IEEE International Conference on, IEEE, 2011, pp. 379-383.
- [53] F. Caron, F. Ruggeri, B. Pierini, A Bayesian approach to improving estimate to complete, International Journal of Project Management, 34(8) (2016) 1687-1702.
- [54] F. Caron, F. Ruggeri, Project Management in the Oil & Gas Industry-AB ayesian Approach, Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, (2014) 1-14.
- [55] S. Zhang, C. Du, W. Sa, C. Wang, G. Wang, Bayesian-based hybrid simulation approach to project completion forecasting for underground construction, Journal of Construction Engineering and Management, 140(1) (2013) 04013031.
- [56] E. Lee, Y. Park, J.G. Shin, Large engineering project risk management using a Bayesian belief network, Expert Systems with Applications, 36(3) (2009) 5880-5887.
- [57] J. Palomo, F. Ruggeri, D. Rios Insua, E. Cagno, F. Caron, M. Mancini, On Bayesian forecasting of procurement delays: A case study, Applied Stochastic Models in Business and Industry, 22(2) (2006) 181-192.
- [58] A. Namazian, S. Haji Yakhchali, Modified Bayesian Network-Based Risk Analysis of Construction Projects: Case Study of South Pars Gas Field Development Projects, ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, 4(4) (2018) 05018003.
- [59] PMI, Practice standard for earned value management, in, McGraw-Hill PA, 2005.
- [60] J. Pajares, A. Lopez-Paredes, An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index, International Journal of Project Management, 29(5) (2011) 615-621.
- [61] S. Bypaneni, D. Tran, L.D. Nguyen, A Bayesian Network Approach to Selecting Project Delivery Methods, in: Construction Research Congress 2018, 2010, pp. 418-427.
- [62] M.E. Bayraktar, M. Hastak, Bayesian belief network model for decision making in highway maintenance: Case studies, Journal of construction engineering and management, 135(12) (2009) 1357-1369.
- [63] J. Sigurdsson, L. Walls, J. Quigley, Bayesian belief nets for managing expert judgement and modelling reliability, Quality and Reliability Engineering International, 17(3) (2001) 181-190.
- [64] C.K. Bart, Controlling new product R&D projects, R&D Management, 23(3) (1993) 187-197.



5 (1) , 2020

دوره ۵، شماره ۱

بهار ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی



شبکه‌های بیزنس، رویکردی نوین برای مدل سازی عدم قطعیت ها در

مدیریت پروژه‌های ساخت

-
- ¹ Subjective probability
 - ² Historical data
 - ³ Expert
 - ⁴ Discrete probability
 - ⁵ Continues probability
 - ⁶ Parent node
 - ⁷ Child note
 - ⁸ leaf node
 - ⁹ Ranking node
 - ¹⁰ Truncated normal distribution
 - ¹¹ Hybrid
 - ¹² Causal relationship
 - ¹³ Expert
 - ¹⁴ Historical data
 - ¹⁵ subjective
 - ¹⁶ Project Management Body of Knowledge(PMBOK)
 - ¹⁷ Evaluating risk in construction-schedule model (ERIC-S): construction schedule risk model
 - ¹⁸ Critical path method
 - ¹⁹ Causal
 - ²⁰ Net Present Value(NPV)
 - ²¹ Earn Value
 - ²² Bayesian Beta S-Curve Method(BBM)
 - ²³ Earn Value Method(EVM)
 - ²⁴ Program Evaluation and Review Technique(PERT)
 - ²⁵ PERTBN
 - ²⁶ Crashing
 - ²⁷ Ranked Path
 - ²⁸ Design Bid Build
 - ²⁹ Design Build
 - ³⁰ Contract Manager/ General Contractor
 - ³¹ Data mining
 - ³² Fuzzy Hierarchy Analytical Method(FAHP)
 - ³³ VIKOR
 - ³⁴ TOPSIS



5 (1) , 2020

دوره ۵، شماره ۱

بهار ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی



شبکه‌های بیزینس، رویکردی نوین برای مدل سازی عدم قطعیت ها در مدیریت پروژه‌های ساخت