

"اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی"
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه
مهندسی آب
17 الی 18 آذر 1389

معرفی شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزین و کاربرد آن‌ها در مدیریت منابع آب

حدیث مهاجرانی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

Mohajerani.hadis@gmail.com

ابوالفضل مساعدی

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، مامور به دانشکده منابع طبیعی و

محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ایران mosaedi@yahoo.com

مجید خلقی

دانشیار گروه مهندسی منابع آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

مهدی مفتاح هلقی

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

امیر سعدالدین

استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

چکیده

منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود، با محدودیت‌های متعددی از جمله عدم توازن در عرضه و تقاضا و توزیع زمانی و مکانی نامناسب، روبرو هستند. انجام مدیریت بهینه‌ی منابع آب، نیازمند ابزارهایی برای تصمیم‌گیری است. برای این امر، روش‌های متعددی از جمله روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی، گرافیکی و الگوریتم ژنتیک به کار می‌روند. بزرگ‌ترین مشکلی که مدیران در عرصه‌ی مدیریت منابع آب با آن روبرو هستند، تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت‌هاست. از جمله، عدم قطعیت در درک چگونگی کارکرد سیستم مورد نظر و تاثیر کارهای مدیریتی بر آن. مدل‌های شبکه‌ی بیزین، یکی از روش‌های قدرتمند در تصمیم‌گیری هستند. آنها مدل‌هایی احتمالاتی هستند که می‌توانند در نمایاندن سیستم‌های پیچیده‌ی طبیعی مفید واقع شوند و ارتباط بین متغیرهای یک مسئله را بصورت گرافیکی و با احتمالات نشان دهند. مزیت این مدل‌ها، در نظر گرفتن عدم قطعیت‌هاست. هم‌چنین می‌توانند سناریوهای تغییر سیستم را برای ارزیابی پروسه‌های تصمیم‌گیری بدست آورند. در این تحقیق سعی شده است به معرفی این مدل‌های احتمالاتی-گرافیکی و کاربرد آن‌ها در مدیریت سیستم‌های منابع آب، پرداخته شود

واژه‌های کلیدی: عدم قطعیت، شبکه‌های بیزین، تصمیم‌گیری، مدیریت منابع آب

مقدمه

در سال‌های اخیر سیستم‌های پشتیبانی تصمیم^۱، جهت جمع‌آوری و یکپارچه‌سازی بهترین دانش و اطلاعات برای اتخاذ بهترین تصمیم‌گیری، در سطح وسیعی از علوم، گسترش یافته است که مدل شبکه‌ی تصمیم‌گیری بیزین^۲ یکی از انواع مختلف سیستم‌های پشتیبانی تصمیم است. شبکه‌ی تصمیم‌گیری بیزین، روشی سودمند است که می‌تواند اطلاعات و داده‌های کمی را به خوبی با دانش کیفی کارشناسی مجتمع نماید، باران و جانتونن^۳ (2004). از طرف دیگر، این شبکه‌ها را می‌توان به عنوان هوش مصنوعی^۴ قلمداد کرد. تکنیک‌های مدل‌سازی بیزین دارای ویژگی‌هایی هستند که آن‌ها را برای پرسش‌های تحلیلی و مدیریتی داده‌های جهان واقعی، کاربردی و مفید ساخته است، یوزیتیلو^۵ (2007). امروزه این مدل‌های احتمالاتی کاربرد وسیعی در علوم مربوط به محیط زیست و منابع آب پیدا کرده است.

شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزین

شبکه بیزین یک مدل گرافیکی احتمالاتی است که مجموعه‌ای از متغیرها و احتمالات مربوط به هر کدام را نشان می‌دهد. این شبکه، یک گراف مستقیم و غیر چرخه‌ای است که در آن، گره‌ها^۶ در حکم متغیرهای مسئله هستند. شبکه‌های بیزین محدودیتی در نمایاندن متغیرهای تصادفی ندارند. ساختار یک شبکه بیزین در واقع یک نمایش گرافیکی از اثرات متقابل متغیرهایی است که باید مدل شوند و علاوه بر این که کیفیت رابطه بین متغیرهای مسئله را نشان می‌دهد، کمیت ارتباط بین این متغیرها را نیز به نمایش می‌گذارد که بصورت عددی از توزیع احتمال مشترک^۷ آنها استفاده می‌کند، دیویس^۸ (2007).

شبکه‌های بیزین را با نام‌های چون شبکه‌های تصمیم^۹، شبکه‌های تصادفی^{۱۰}، نمودارهای تاثیر^{۱۱} و شبکه‌های بیز^{۱۲} نیز می‌خوانند. این روش بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته (قانون بیز^{۱۳})، می‌باشد (رابطه 1). این قاعده توسط توماس بیز^{۱۴} بوجود آمد. وی در قرن هجدهم میلادی (1761-1702) در انگلستان می‌زیست. این قاعده توسط لاپلاس تعمیم داده شد و نقطه‌ی آغازین پرداختن به مسائل استنباطی با استفاده از منطق تئوری احتمالات می‌باشد جنسن و جارالف^{۱۵} (2005).

$$P(b|a) = P(a|b) \times P(b) / P(a) \quad (1)$$

که در رابطه (1)، $P(a)$: احتمال وقوع پیشامد a ، $P(b)$: احتمال وقوع پیشامد b ، $P(b|a)$: احتمال وقوع پیشامد b ، به شرطی که پیشامد a اتفاق افتاده باشد، $P(a|b)$: احتمال وقوع پیشامد a ، به شرطی که پیشامد b اتفاق افتاده باشد، هستند.

متغیرهایی که در مسائل زیست‌محیطی و منابع طبیعی به کار می‌روند، می‌توانند کیفی یا کمی باشند. تعیین تعداد مناسبی از متغیرها در یک مسئله‌ی مدل‌سازی از مسائل چالش‌برانگیزی است که باید با دقت به آن پرداخته شود و نیز نباید تعداد متغیرها زیاد باشد. قانون احتمالات اعمال شده نیز باید بر مبنای بهترین یافته‌های موجود یا اطلاعات کمی

¹-Decision Support Systems(DSS)

²-Bayesian Decision Network

³-Baran and Juntunen

⁴-Artificial Intelligence

⁵-Uusitalo

⁶-Node

⁷- Joint Probability

⁸-Davies

⁹- Belief networks

¹⁰- Casual networks

¹¹- Influence diagrams

¹²- Bayes networks

¹³- Bayes theorem

¹⁴- Thomas Bayes

¹⁵-Jensen & Kjærulff

وکیفی بین متغیرها باشد. پیشنهادها و تصمیم‌هایی که برای اجرا ارائه می‌شوند، بر اساس حداکثر سود پیش‌بینی شده است، جنسن و جارالف (2005). هر شبکه‌ی بیزین از سه جزء اصلی تشکیل شده است:

- مجموعه‌ای از گره‌ها، گره‌ها در واقع متغیرهای سیستم مدیریتی هستند. این گره‌ها می‌توانند متغیرهای پیوسته یا نا-پیوسته یا اعداد ثابت یا توابع پیوسته باشند. هر گره به چند طبقه یا کلاس¹ تقسیم می‌شود، در حالت کلی، گره‌ها یا یا والد² هستند یا ولد (فرزند)³. یک گره ولد می‌تواند توسط چندین والد، تولید شده باشد. کن⁴ و همکاران (2006).
- (2006). سه نوع گره در یک گراف بیزین وجود دارد:
- الف) گره تصمیم⁵، که نشان‌دهنده مجموعه‌ای از مدیریت‌های مجزا است.
- ب) گره نشان‌دهنده ارزش⁶، که میزان سود و هزینه و سایر ارزش‌ها را نمایان می‌سازد.
- ج) گره وضعیت⁷ یا حالت، نشان‌دهنده‌ی متغیرهایی است که می‌توانند در هر یک از چندین حالت مجزا با یک احتمال احتمال مشخص حضور یابند کوکا و واریز⁸ (1997).
- مجموعه‌ای از بندها⁹، روابط سببی بین متغیرها بوسیله بندها بوجود می‌آیند (سعدالدین و همکاران 2006). این روابط روابط بوسیله‌ی پیکان نمایش داده می‌شوند. گره‌ها بوسیله‌ی پیکان‌ها به هم مربوط می‌شوند. عدم وجود پیکان بین گره‌ها، بیان‌گر استقلال متغیرها می‌باشد. پولینو و هارت¹⁰ (2006). گره‌هایی که هیچ پیکانی به آن‌ها وارد نشده است گره‌های والد ورودی¹¹ هستند. گرهی که پیکان به آن وارد و از آن خارج می‌شود، بیان‌گر گره ولد وضعیت¹² می‌باشند و گره‌هایی که از آن‌ها هیچ پیکانی خارج نمی‌شود، نشان‌دهنده‌ی گره‌های ولد خروجی¹³ می‌باشند. کن و همکاران (2006). منظور منطقی پیکانی که از سمت متغیر X به سمت متغیر Y می‌رود، این است که متغیر X اثر مستقیم بر متغیر Y دارد مثلاً دما اثر مستقیم بر تبخیر و تعرق دارد، سعدالدین و همکاران (2006).
- مجموعه‌ای از احتمالات، هر کدام برای یک متغیر شرایط تصمیمی را مشخص می‌کند که این شرایط از طریق متغیرهایی که مستقیماً آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند (والدین آن)، به آن نسبت داده می‌شوند، کین¹⁴ و همکاران (2001). گره‌هایی که قبل آن‌ها گره دیگری در گراف وجود دارد با توزیع احتمال شرطی¹⁵ تعریف می‌شوند و در غیر این صورت با احتمال آغازین (اولیه)¹⁶ آن‌ها بیان می‌شوند. احتمالات مربوط به پایین‌ترین بخش در شبکه بیزین از طریق قانون احتمال کل¹⁷ بدست می‌آید. و احتمالات مرتبط با بخش‌های بالایی شبکه، بر اساس قانون بیز هستند، کوکا و واریز (1997). در حالت کلی اگر گره X دارای والد نباشد گره غیرمشروط¹⁸ و در غیر این صورت گره مشروط¹⁹ می‌باشد نیولیتان²⁰ (2003). احتمال شرطی، احتمال میزان تاثیر یک گره ورودی به یک گره مفروض در شبکه را بدست می‌دهد و

¹- State

²- Parent

³- Child

⁴- McCann

⁵- Decision node

⁶- Utility node

⁷- State node

⁸- Kuikka & Varis

⁹- Links

¹⁰- Pollino & Hart

¹¹- Input parent

¹²- Summary

¹³- Output child

¹⁴- Cain

¹⁵- Conditional probability

¹⁶- Prior probability

¹⁷- Total Probability

¹⁸- Unconditional

¹⁹- Conditional

²⁰- Neapolitan

احتمال آغازین بیانگر میزان احتمال قرارگیری یک متغیر ورودی در یک کلاس معین می‌باشد. و از طریق اطلاعات اولیه موجود راجع به متغیرها بدست می‌آید.

مراحل ساخت و توسعه‌ی مدل شبکه‌ی بیزین را می‌توان به صورت خلاصه و به شکل زیر بیان کرد:

- تشکیل چهارچوب¹ مدل، که شامل تعریف متغیرها و روابط موجود بین آن‌ها در سیستم است و معمولاً بر اساس یک مدل مفهومی از سیستمی که قرار است مدل‌سازی و مدیریت شود، شکل می‌گیرد. بنابراین ساخت مدل مفهومی، اولین قدم در ساختن مدل بیزین است.

- مرحله بعدی تعیین تعداد کلاس برای گره‌های (متغیر) شبکه است. کلاس‌بندی متغیرهای موجود در شبکه به صورت پیوسته یا گسسته است. که این طبقه‌بندی می‌تواند شامل سطوحی با محدوده‌ای از اعداد باشد ($2 <$ ، $2 >$) یا در برگرفته‌ی یک عبارت باشد ($2 <$ قابل قبول، $2 >$ غیر قابل قبول).

- پس از تعیین کلاس‌ها، برای ایجاد اتصال بین گره‌ها، تعریف و تعیین گره‌های والد و فرزند، الزامی می‌باشد. چگونگی و احتمال ارتباط بین این دو دسته گره بوسیله‌ی جداول احتمال شرطی² تشریح می‌گردد، پولینو و هارت، (2006). سه راه وجود دارد که بتوان اطلاعات این جداول را به دست آورد: 1) استفاده از داده‌های مشاهداتی 2) داده‌های منتج از مدل شبیه‌سازی 3) قضاوت کارشناس. در مواردی که داده‌های واقعی وجود ندارد برای بدست آوردن توابع سود³ و هزینه⁴ و جداول CPT می‌توان از آنالیزهای اقتصادی به همراه قضاوت کارشناسان استفاده کرد.

برای مثال در یک طرح مدیریت سد، چند نوع CPT مختلف می‌توان داشت. یک CPT برای سیلاب‌های ورودی به سدهای مختلف که از داده‌های مشاهداتی بدست آمده است، یک جدول برای طغیان در سطوح مختلف سیلاب که از مدل بدست آمده است و یکی در مورد اثرات اقتصادی این طغیان‌ها که در آن، داده‌ها بر اساس نظر کارشناسان می‌باشد کوکا و واریز (1997).

داده‌ها و دانش جدید می‌توانند وارد شبکه‌های بیزین شده و برای محاسبه‌ی احتمالات پسین⁵ بکار روند.

- ارزیابی مدل: مجموعه‌ای از ابزار اعتبارسنجی می‌توانند در مورد ارزیابی شبکه‌های بیزین بکار روند که این ارزیابی‌ها می‌توانند از طریق داده‌ها یا توسط تکنیک‌های کارشناسی و یا هر دو، صورت گیرد. البته روش ارزیابی کمی از طریق داده‌های موجود برتری دارد. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به صحت‌سنجی⁶ و تحلیل حساسیت⁷ اشاره کرد.

- شبکه‌های بیزین می‌توانند سناریوهای مختلف مدیریتی را آزمایش کنند و یا می‌توانند ایجاد تغییر در سیستم را به علت سایر فاکتورها پیش‌بینی کنند، پولینو و هارت، (2007).

مزیت‌های شبکه‌های بیزین:

1- یکی از سودمندترین مزایای این شبکه‌ها این است که جهت انجام آنالیز، چیزی به عنوان اندازه‌ی حداقل برای داده‌های نمونه، وجود ندارد و این شبکه‌ها در محاسبات خود از تمامی داده‌های موجود استفاده می‌کنند و حتی با وجود نمونه‌هایی با اندازه‌هایی نسبتاً کوچک می‌توان به پیش‌بینی‌هایی با دقت خوب دست یافت.

2- به کارگیری و ترکیب منابع مختلف از داده‌ها: از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های بیزین، استفاده از اطلاعات پیشین و اولیه راجع به موضوع مورد نظر می‌باشد. سپس جهت کسب ترکیبی از دانش اولیه و داده‌های جدید، این اطلاعات بوسیله‌ی داده‌ها

¹- Framework

²- Conditional probability Table (CPTs)

³-Benefit

⁴- Cost

⁵-Posterior probabilities

⁶- Model evaluation

⁷- Predictive accuracy

⁸- Sensitivity analysis

به‌هنگام‌سازی¹ می‌گردند. که این تلفیق بدست آمده نیز می‌تواند به عنوان اطلاعات اولیه در یک مطالعه‌ی جدید مورد استفاده قرار گیرد. از دیگر امتیازات شبکه‌های بیزین این است که براحتی در یک مسیر ریاضی، اطلاعات بدست آمده با درجه‌ی دقت و منابع مختلف را با هم ترکیب کرده و مورد استفاده قرار می‌دهد. دانش کارشناسی می‌تواند در خصوص متغیرهایی که داده‌ی لازم در مورد آن‌ها موجود نیست، با سایر داده‌ها ترکیب شوند. مارکوت² و همکاران (2001). این شبکه‌ها همچنین می‌توانند با روش‌های دیگر آنالیز بیزین و نتایج روش MCMC³ وارد شبکه‌ی بیزین شود.

4-بدلیل حل تحلیلی شبکه‌های بیزین، به ازای هر بار اجرای مدل پاسخ‌های سریعی به جستجوها داده می‌شود. هر بار اجرای شبکه‌ی بیزین، شامل تعیین توزیع‌های احتمال شرطی به ازای ترکیب‌های مختلف مقادیر متغیرها می‌باشد.

5-شبکه‌ی بیزین با استفاده از تئوری احتمالات برای مدیریت عدم قطعیت‌ها با استفاده از توابع شرطی به کار رفته، استفاده می‌کند سعدالدین و همکاران (2006). این شبکه‌ها عدم قطعیت‌ها را بصورت صریح در مسیری که توسط کاربر انجام می‌شود نشان می‌دهد.

6-توان بالای شبکه‌های تصمیم بیزین در نمایش تصویری متغیرها و روابط بین آن‌ها در یک سیستم منجر به شناخت و درک بالاتری از سیستم می‌گردد، سعدالدین و همکاران (2006).

چالش‌های موجود در کاربرد شبکه‌ی بیزین

- 1-معمولا در تحقیقات زیست‌محیطی، داده‌ها و پارامترها شامل مقادیر پیوسته می‌باشند. در صورتی که شبکه‌های بیزین تنها در حالت‌های محدودی متغیرهای پیوسته را مورد استفاده قرار می‌دهد. راه حل معمول در این مورد، جداسازی⁴ مقادیر متغیرها و ساختن مدل در حالت ناپیوسته می‌باشد. چگونگی جداسازی مقادیر پارامترها، سوال دشواری است. تعیین روش و چگونگی جداسازی این مقادیر مسئله‌ای است که باید توسط کارشناسان تعیین و مورد بررسی قرار گیرد. تفاوت در تعداد فواصل⁵ و طبقه‌بندی‌ها می‌تواند منجر به نتایج متفاوتی نیز در مدل‌سازی گردد. در مطالعات اکولوژیکی تعداد تقسیم‌بندی‌ها برای هر متغیر معمولا بین 10-2 طبقه می‌باشد. برای ساختن یک شبکه‌ی معنی‌دار باید تعداد تقسیمات، محدود شده و به حداقل برسد. یوزیلیتو (2007).
- 2-جمع‌آوری دانش کارشناسی: شبکه‌های بیزین ابزاری کاربردی برای مدل‌سازی دانش کارشناسی می‌باشند ولی در عین حال تبدیل اطلاعات کارشناسی به شکل توزیع احتمالاتی، دشوار است به دو دلیل عمده، اول این که محققین عرصه‌ی اکولوژی معمولا با داده‌های آزمایشگاهی و نمونه‌های واقعی سروکار دارند بنابراین انجام این عمل بدون تکیه بر داده‌ها بسیار دشوار است. دلیل دوم این است که اگر از آنالیزهای آماری کلاسیک استفاده شود، ممکن است در تبدیل دانش کارشناسی به توزیع‌های احتمالاتی و برآوردهای نقطه‌ای و فاصله‌های اطمینان، عدم قطعیت وجود داشته باشد. کارشناسان، پارامترهای مسئله و توزیع احتمالات شرطی را تعیین می‌کنند. برای دستیابی به این مهم، کارشناسان باید آشنا به متغیرهای مسئله بوده و بروی ساختار مدل اتفاق نظر داشته باشند، کلمن و وینکلر (1999).
- 3-عدم امکان در نظر گرفتن حلقه‌های بازخورد در متغیرهای سیستم، به عنوان مثال تاثیر یک متغیر به صورت برگشتی به سمت متغیر پیش‌بینی کننده قابل بررسی نیست، مارکوت⁷ و همکاران (2001) و سعدالدین و همکاران (2006).

کاربرد مدل‌های شبکه‌ی بیزین در مدیریت منابع طبیعی و منابع آب

¹-Update

²- Marcot

³-Markov chain Monte Carlo

⁴-Challenges

⁵-Discretization

⁶- Intervals

⁷- Marcot

کاستلتی و سانسینی (2006) سه کاربرد مختلف را برای شبکه‌های تصمیم‌بیزین معرفی کردند: 1) استفاده به منظور مدل-سازی، برای توصیف سیستمی که مورد مطالعه قرار گرفته است. 2) برای پشتیبانی تصمیم‌گیری، که شامل متغیرهای تصمیم¹ و پیامد می‌باشد و شبکه‌ی تصمیم‌گیری بیزین را به عنوان سیستم پشتیبانی تصمیم بکار می‌گیرد. 3) شبکه‌ی تصمیم‌بیزین به عنوان یک ابزار بصری برای ساده‌سازی و خلاصه کردن خروجی‌های یک مدل پیچیده بکار می‌رود. این ابزار ممکن است قسمتی از یک سیستم پشتیبانی تصمیم پیچیده باشد که در این مورد این استفاده تقریباً مشابه کاربرد نوع دوم می‌باشد. پیشرفت‌های گسترده در زمینه‌ی توان‌مندی رایانه‌ها و توسعه‌ی نرم‌افزارها منجر به افزایش قابلیت اجرای روش‌های بیزین برای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم شده است کوپر و همکاران² (2004).

یک حوزه‌ی آبخیز دربرگیرنده واکنش‌های پیچیده‌ی میان اجزاء زیست‌محیطی و اجتماعی و اقتصادی و سیاسی می‌باشد. یک برنامه‌ی مدیریتی موفق نیازمند توجه به واکنش‌های پیچیده‌ی موجود میان این اجزاء می‌باشد. در محدوده‌ی مدیریت منابع طبیعی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات مربوط به رشته‌های مختلف در مدل‌سازی ضروری می‌باشد. فقدان چارچوب ریاضی، این امر را برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و متغیرهای بین‌رشته‌ای مشکل می‌سازد. اما شبکه‌های بیزین قابلیت فراهم کردن این چارچوب را دارد و روش‌های جامع در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده را با استفاده از منابع مختلف داده‌ها و اطلاعات کمی و کیفی دخیل می‌سازد. این کارایی به عنوان یک معیار مهم در کاربرد شبکه‌های بیزین در مدیریت منابع طبیعی و منابع آب در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است سعدالدین و همکاران (2006).

در ادامه چندین پژوهش صورت گرفته در زمینه منابع آب و مدیریت منابع طبیعی با استفاده از شبکه‌های بیزین ذکر می‌گردد. جانتونن³ (2004) با استفاده از مدل تصمیم‌گیری بیزین به مسئله مدیریت محیط زیست پرداخت. عرصه مدیریت محیط زیست یکی از عرصه‌هایی است که با توجه به تعداد متغیرها و اثرات متقابل آن‌ها بر هم و واکنش‌های آن‌ها نیازمند ابزارهایی در جهت جمع‌آوری اطلاعات، سناریو سازی و تصمیم‌گیری می‌باشد. مدیریت محیط زیست یعنی مدیریت منابع آب و زمین (خشکی) به نحوی که از منابع طبیعی به صورت قابل قبولی از جهت حفظ آن‌ها بهره‌برداری گردد، جایی که اهداف مختلف و گاه متقابل باهم روبرو خواهند شد. و به این نتیجه رسیدند که مدل تصمیم‌گیری بیزین مدل بسیار مناسب و سودمندی است که می‌تواند اطلاعات و داده‌های کمی را بخوبی با دانش کارشناسی جهت اتخاذ تصمیم. مجتمع نماید.

بورسوک⁴ و همکاران (2002) با استفاده از شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزین به پیش‌بینی متغیرهای مربوط به اکوسیستم و کیفیت آب در مصب رودخانه‌ای در شمال کارولینا⁵ پرداختند.

کاتناکسای و جیپونی⁶ (2009) تحقیقی در زمینه‌ی تحلیل تأثیرگذاری مدل‌های شبکه بیزین به عنوان روشی تلفیقی ارائه کردند، روشی که در آن به کاربر اجازه داده می‌شود که عدم قطعیت‌ها را مدیریت کند و سیاست‌های تطبیقی تغییر اقلیم را اجرایی نماید.

که در گراف شبکه‌ی بیزین آن، «ساخت سد بر ساحل دریا» متغیر تصمیم است که دارای دو سطح «آری-خیر» است و ارزش اقتصادی تولیدات شیلاتی و کشت آبزیان، به عنوان متغیرهای منفعت در شبکه مطرح گشته‌اند. و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه‌ی بیزین، روشی نو و عملی را ارائه می‌کند که احتمالات و عدم قطعیت‌ها را در راستای تحلیل گزینه‌های مدیریتی تصمیم‌گیرنده‌ها، ترکیب و ارزیابی می‌کند

برانن⁷ و هنریکسون (2003) با استفاده از شبکه‌های تصمیم‌بیزین به حفاظت و مدیریت کمی و کیفی آب شرب استحصالی از منابع آب زیرزمینی در دانمارک پرداختند.

منابع آب زیرزمینی منطقه تحت تاثیر منابع آلوده‌کننده نقطه‌ای و منابع پراکنده (مانند آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی) در شهر و روستا می‌باشند. در این تحقیق فرض شده است که نوع کاربری اراضی بر آبخوان سطحی اثر گذار است. و تامین آب برای

¹- Decision node

²- Cooper

³- Jantunen

⁴- Borsuk

⁵- North Carolina

⁶- Catenacci And Giupponi

⁷- Brandt and Henriksen

انواع مصارف اعمم از کشاورزی و شرب و صنعت و نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است. که مقدر تامین آب شرب به عنوان متغیر تصمیم مسئله می‌باشد. و در ادامه متغیرهای هزینه (هزینه‌های استحصال و انتقال، انجام انواع کارهای مدیریتی و حافظتی) و سود (ناشی از کسب منافع اقتصادی و زیست‌محیطی و اجتماعی) وارد شبکه‌ی تصمیم بیزین شده است. و به این نتیجه رسیدند که کاربرد شبکه‌ی تصمیم بیزین به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری¹ در مدیریت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی موجود، بسیار مؤثر است. کاربرد مدل‌های آب زیرزمینی برای اهداف مختلف، زمانی که مسئله با متغیرهای جغرافیایی و متغیرهایی با شرایط معین (شرایط کمی آب زیرزمینی)، سروکار دارد، می‌تواند مفید باشد. ولی زمانی که در مسئله‌ی آب زیرزمینی تمامی مشکلات اعم از مسائل اجتماعی و اقتصادی و مسائل کیفی آب زیرزمینی و مانند این‌ها در نظر گرفته می‌شود، برای بسیاری از روش‌ها و مدل‌ها داشتن ظرفیت این نگاه جامع به مسئله و سپس تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، چندان آسان نیست.

الالا² و همکاران (2005) با استفاده از شبکه‌های تصمیم بیزین به مدیریت یکپارچه منابع آب پرداختند. مهمترین مشکل منطقه مربوط به استخراج بیش از اندازه از آبخوان محلی است که دلیل آن را می‌توان، افزایش قابل توجه در سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، طی 25 سال گذشته دانست. نرم‌افزار به کار رفته در این تحقیق برای ساخت مدل شبکه‌های بیزین، نرم-افزار هوگین³ است که یکی از نرم‌افزارهای تخصصی مدل‌های بیزین می‌باشد. نتایج بدست آمده از روش مذکور، نشان می‌دهد که وضعیت موجود از نظر استخراج از آبخوان، وضعیتی قابل قبول نیست. روش‌های متعددی برای حل این مشکل وجود دارد. از جمله کاهش حجم برداشت موجود از آب زیرزمینی، که به دلیل کاهش درآمد، خوشایند کشاورزان نیست. راه دوم جایگزینی استفاده از آب‌های سطحی به جای آب زیرزمینی است که مهمترین مشکل آن را می‌توان به افزایش هزینه‌های زیرساختی، مربوط دانست.

بروملی⁴ و همکاران (2005) به کمک شبکه‌های تصمیم بیزین و با کاربرد نرم‌افزار هوگین⁵ به مدیریت منابع آب در چهار حوضه‌ی آبخیز در چهار کشور اروپایی پرداختند. که در آن عوامل مختلفی از جمله عوامل اقتصادی (آب‌بها، قیمت ملک) و عوامل اجتماعی (در نظر گرفتن رودخانه به عنوان مکان تفریحی و حفظ آن) و عوامل فیزیکی (مقدار جریان آب رودخانه)، را با هم وارد شبکه‌ی تصمیم‌گیری نمودند. تعداد خانه‌های جدید ساخته شده در منطقه یکی از متغیرهای مادر⁶ شبکه است که بروی میزان استخراج از آبخوان و جریان پایه‌ی رودخانه اثرگذار است.

فرمانی⁷ و همکاران (2009) با استفاده از شبکه‌های بیزین به مدیریت بهینه‌ی آلودگی آب‌های زیرزمینی در کوپنهاگ پرداختند که در آن شبکه‌های بیزین به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی با نرم‌افزاری دیگر به نام GANetXL (2007) که مبتنی بر مدیریت پویای چندهدفه است، بصورت توأم عمل می‌کند. این نرم‌افزار مقادیر مورد نیاز برای سطوح⁸ متغیرهای موجود در شبکه را تولید می‌کند. این مسئله شامل اهداف حداکثر کردن درآمد کشاورز، حداقل کردن غرامت‌ها و کسب حداکثر کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. متغیرهای تصمیم‌گیری شامل مبلغ جریمه، محصولات کشاورزی، کاربرد آفت‌کش غیر نقطه‌ای و انتقال و تفکیک منابع نقطه‌ای می‌باشد که مقادیر متغیرهای هدف و تصمیم در سه سناریو بدست آمده است. نتیجه‌ی بدست آمده، نشان از موفقیت آمیز بودن کاربرد مدل‌های شبکه‌ی بیزین با روش بهینه‌سازی چندهدفه در مدیریت آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه بوده است.

دورنر⁹ و همکاران (2007) با استفاده از شبکه‌های بیزین در زمینه‌ی مدل‌سازی آلودگی و اتخاذ تصمیم در همین رابطه، تحقیقی ارائه کردند. در این تحقیق، مسئله‌ی منابع غیر نقطه‌ای آلودگی کشاورزی با رویکردهای اقتصادی در کشاورزی، ترکیب

¹ -Decision support tool

² -Olalla

³ -Hugin Researcher A/S, 2003

⁴ -Bromley

⁵ -Hugin

⁶ -Parent

⁷ -Farmani

⁸ -State

⁹ -Dorner

شده است و ساختار یک مدل فیزیکی در خلال یک شبکه‌ی بیزین ارائه شده است. بر اساس تعریف کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (1987)، سیاست قابل قبول، سیاستی است که بتواند بین رویکردهای اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی، برای حال و آینده، تعادل ایجاد نماید. در حل این گونه مسائل چندمعیاره (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی)، معمولاً از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی و پویا و تحلیل رگرسیون لجستیک برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده می‌شود. آلودگی آب‌های سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه، متاثر از منابع آلودگی غیرنقطه‌ای هستند که 60 درصد این آلودگی‌ها متاثر از رواناب کشاورزی است که شامل رسوبات و آفت‌کش‌ها و مواد شیمیایی و بیولوژیکی هستند. در این تحقیق از نرم‌افزارهای GAMES و NETICA استفاده شده است همچنین برای محاسبه‌ی توزیع احتمالات شرطی از روش شبیه‌سازی مونت کارلو¹ توسط نرم‌افزار GAMES استفاده شده است. در راستای پروسه‌ی تصمیم‌گیری 9 سناریوی تصمیم در مورد نوع الگوی کشت مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت به این نتیجه رسیدند که مدیریت حفاظت از زمین‌های کشاورزی، انتخابی مناسب برای سیاست‌های طولانی مدت در منطقه است چون نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی را باهم مرتفع می‌سازد.

نیکو و کراچیان (1387) با توجه به جهت یک‌طرفه جریان آب در رودخانه، از سیستم نسبت-تجارت و شبکه‌های بیزین به منظور تهیه‌ی یک مدل مدیریت کیفی رودخانه در زمان واقعی استفاده کردند. در این تحقیق از نتایج حاصل از سیستم نسبت-تجارت برای آموزش یک شبکه‌ی بیزین استفاده گردید. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در سیستم رودخانه‌ای، از تلفیق تحلیل عدم قطعیت مونت کارلو، روش نسبت-تجارت و شبکه‌های بیزین، یک مدل جدید برای تجارت مجوز تخلیه‌ی آلاینده‌ها پیشنهاد شد که علاوه بر ارائه‌ی الگوی تجارت مجوز تخلیه‌ی بار آلودگی، قابلیت ایجاد خروجی احتمالاتی و مدیریت کیفی رودخانه در زمان واقعی را نیز داراست. کارایی مدل پیشنهادی با نتایج ارائه شده توسط مدل کلاسیک سیستم نسبت-تجارت مقایسه شد. نتایج حاصل حاکی از آن است که این مدل ابزاری کارآمد در مدیریت کیفی سیستم رودخانه‌ای به شمار می‌رود.

چین² و همکاران (2003) به کمک شبکه‌های تصمیم بیزین به انجام یک طرح مدیریت کشاورزی در حوضه‌ی آبخیز یک رودخانه در سریلانکا، پرداختند. در این طرح، از شبکه‌های تصمیم بیزین به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم استفاده شده است. برای این منظور از چهار گروه کارشناسی خواسته شد که نسبت به تعیین مشکلات کشاورزی در منطقه و ارائه‌ی راه‌حل‌های مدنظر خود، وارد عمل شوند. و در نهایت به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های بیزین یک چهارچوب عملی و مناسب برای تصمیم‌گیری است که به سیاست‌گذاران این امکان را می‌دهد تا بتوانند در مورد سیستم‌های پیچیده‌ای چون سیستم‌های زیست‌محیطی، اقدام به مدیریت و تصمیم‌گیری نمایند.

پولاکیس³ و همکاران (2003) از شبکه‌های بیزین به عنوان روشی برای ردیابی نشت در شبکه‌ی لوله‌های آب، استفاده کردند. روش مورد استفاده، عدم قطعیت‌های موجود در اندازه‌گیری و خطاهای مدل‌سازی را در نظر می‌گیرد. بدین‌وسیله، نشت‌هایی که از نظر مقدار و موقعیت، بیشترین احتمال وقوع را دارند به دست می‌آید. نقش عواملی چون خطای مدل‌سازی، پراکندگی در اندازه‌گیری، نوع و موقعیت گیرنده‌ها و شدت نشت، مورد توجه قرار گرفته است. مسئله‌ی پیش‌بینی محتمل‌ترین موقعیت و مقدار برای تراوش از لوله‌ها که شامل انجام مجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی پیوسته می‌باشد، بوسیله‌ی یک مسئله-ی بهینه‌سازی مجزا انجام شده است. و به این نتیجه رسیدند که یک چهارچوب احتمالاتی مانند شبکه‌های بیزین، برای ردیابی مقدار و موقعیت وقوع تراوش در شبکه‌ی لوله‌های آب، روشی موفقیت‌آمیز است که بوسیله داده‌های شبیه‌سازی شده مورد آزمایش قرار گرفت.

بورساک⁴ و همکاران (2004) برنامه‌ی پایش و مدیریت کیفی رودخانه را بوسیله‌ی شبکه‌ی تیزین انجام دادند. این برنامه در مورد مشکل خوراکوری آب یک رودخانه در ایالت گارولینا⁵ در ایالات متحده⁶ است خوراکوری آب، شامل کاهش اکسیژن

¹-Mont Carlo Optimization

²-Cain

³-Poulakis

⁴-Borsuk

⁵-Carolina

⁶-United States

محلول در آب و افزایش رشد جلبک‌ها و میکروارگانیسم‌های سمی و کاهش جمعیت آبزیان می‌باشد. در مسائل اکولوژیکی، نیتروژن به عنوان یک عامل آلودگی در افزایش رشد جلبک‌ها تلقی می‌گردد. به همین دلیل سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده اقدام به اعمال محدودیت‌هایی در ورود بار نیتروژن در مصب این رودخانه نموده است. به این ترتیب باید حداکثر مقدار آلودگی ورودی به شرطی که استانداردهای حفاظتی را در نظر بگیرد، تعیین شود. این رودخانه از نظر پارامترهای کیفی به سه دسته پارامتر، تقسیم گردید. پارامترهای مربوط به کیفیت آب، کیفیت بیولوژیکی و کیفیت آب مناسب سلامتی انسان. و سپس شبکه‌ی بیزین مناسب مسئله، تشکیل داده شد. هدف از ساخت این مدل، نشان دادن دانش گروه کارشناسی، در انعکاس رابطه‌ی بین نیتروژن ورودی و واکنش اکوسیستم رودخانه مذکور می‌باشد. و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه‌ی بیزین می‌تواند تغییراتی را که در خواص اکوسیستم به وجود می‌آید، در ارتباط با سیاست‌های اتخاذ شده، پیش‌بینی نماید. رجانی و ویرس¹ (2008) با کاربرد مدل‌های بیزین و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود به پیش‌بینی تراز سطح آب در سیستم پیش‌بینی جریان رود را² پرداختند. با ترکیب یک تابع هزینه در مدل برای برآورد ارزش اقتصادی ارسال هشدار سیلاب، می‌توان خسارت ناشی از هر تراز سطح آب پیش‌بینی شده را تعیین کرد و به این نتیجه رسیدند که به کمک این روش، با یک ریسک قابل قبول می‌توان تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت را برای پیش‌بینی جریان رودخانه، تسهیل نمود. سعدالدین و همکاران (2005) بوسیله شبکه تصمیم‌گیری، یک ابزار جدید جهت اعمال مدیریت یکپارچه در رابطه با مدیریت حوزه آبخیز و مدیریت شوری خاک در استرالیا ارائه نمود. و نشان دادند که این شبکه تصمیم‌گیری، اجزای سیستم‌های مختلف اکولوژیکی، بیولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی را به صورت یکپارچه در نظر گرفته و در خود می‌گنجانند.

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر افزایش زیادی در تمایل به استفاده از مدل‌های گرافیکی، از جمله مدل‌های بیزین در مدل‌سازی منابع طبیعی و محیط زیست مشاهده شده است. شبکه‌های بیزین، مدل‌هایی گرافیکی هستند که سیستم مورد مطالعه را بصورت شبکه‌ای از متغیرها نشان می‌دهد که این متغیرها بوسیله‌ی روابط احتمالاتی به هم مرتبط می‌شوند. شبکه‌های بیزین از تئوری احتمالات برای مدیریت عدم قطعیت‌ها و بواسطه‌ی توابع شرطی به کار رفته، استفاده می‌کند. از این رو می‌توان شبکه‌های بیزین را ابزاری توانمند برای استدلال در شرایط عدم قطعیت دانست. همچنین در این مدل‌ها می‌توان از نظرات کارشناسان در سیستم‌های پیچیده استفاده کرد که این امر بصورت بالقوه در مدیریت منابع طبیعی و منابع آب با ارزش است مخصوصاً در شرایطی که در دسترس بودن و قابل اعتماد بودن داده‌های مربوط به منابع آب، محدود است. در این مطالعه کوشش شد این مدل‌های گرافیکی و احتمالاتی معرفی شوند تا با گسترش کاربرد آن‌ها بتوان با رویکردی دیگر به مباحث مربوط به مدیریت منابع آب پرداخت.

فهرست منابع

1. نیکو، محمدرضا و کراچیان، ر. "ارزیابی کارایی شبکه‌های بیزی در مدیریت کیفی آب رودخانه: کاربرد سیستم نسبت-تجارت"، تهران، مجله آب و فاضلاب. 1387.

¹ - Reggiani and Weerts

² -Rhine

- 1-Baran, E. and Jantunen. "Stakholders consultationfor Bayesian Decision Systemes in enviromental managemant", Proceeding of the Regional Conference on Ecological and Enviromental Modeling (ECOMOD 2004), Universiti Satns Malaysia. 2004
- 2-Uusitalo, L."Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modeling", ecological modeling. 2007
- 3-Davies, P. "Bayesian Decision Networks for Management of High Conservation", Report to the Conservation of Freshwater Ecosystem Values Project. Department of Primary Industries and Water, Hobart, Tasmania. 2007
- 4-Jensen, F. and Kjarulff, U. "Bayesian Networks and Decision Graphs", A 3-week course at Reykjavik University. Group of Machine Intelligence. Department of Computer Science, Aalborg University. 2005
- 5-McCann, R. Marcot, B. and Ellis, R. "Bayesian Belief Networks: application in ecology and natural resource management", NRC Research Press. 2006
- 6-Kuikka, S. and Varis, O. "Uncertainties of climate change impacts in Finnish watersheds: a Bayesian network analysis of expert knowledge", Boreal Environment Research. 1997
- 7-Sadoddin, A. Letcher, R.A., Jackeman, A.J., and Newham, L.T.H.. A. "Bayesian decision network approach for assessing the ecological impact of salinity management", Mathematics and Computer in Simulation. 2005
- 8-Pollino, C.And Hart, B."Bayesian Network Models In Natural Resource Manegement", integrated catchment assessment and management center. 2006
- 9-Cain, J. "Planning improvement in natural resource management: guideline for using Bayesian networks to support the planning and management of development program in the water sector and beyond", Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Wallingford, UK .2001
- 10- Neapolitan, R. E. "Learning bayesian networks", Prentice Hall, New York. 2003
- 11- Marcot, B.G., Holthausen, R.S., Raphael, M.G., Rowland, M.M., and Wisdom, M.J. "Using Bayesian belief network in adaptive Management", www.plexusowls.com/PDFs/. Accessed 12 June 2008. 2001
- 12-Clemen, R.T. Winkler, R.L. "Combining probability distributions from experts in risk analysis", Risk Anal. 1999
- 13-Cooper, N. Sutton, J. Abrams, K. Turner, R. and Wailoo, A. "Teaching Bayesian methods in biomedical research", 17 May. online. <enr.oregonstate.edu/~wong/research.html> 17, May. 2008
- 14-Borsuk, M. Stow, C. Higdon, D. and Reckhow, K. "A Bayesian hierarchical model to predict benthic oxygen demand from organic matter loading in estuaries and coastal zones", J. Ecologycal Modeling. 2001
- 15- Catenacci, M. And Giupponi, C. "Potentials Of Bayesian Networks To Deal With Uncertainti In Climate Change Adaptation Policies", Centro Euro Mediterraneo Per Cambiamenti Climatic. 2009
- 16-Brandt, G. and Henriksen, H. "Protection of drinking water sources for quality and quantity", Denmark, Geological Survey of Denmark and Greenland. 2003
- 17-Olalla, F.J. Santa, A. Dominguez, A. Artigao, C. and Fabeiro, J.F."Integrated water resources management of the hydrogeological unit "Eastern Mancha" using Bayesian Belief Networks", Agricultural Water Management. 2005
- 18-Bromley, J. Jackson. N. Clymer. O. Giacomello, A. and Jensen, F. "The use of Hugin to develop Bayesian networks as an aid to integrated water resource planning", J. Environmental Modeling and Software. 2005
- 19- Farmani, R. Henriksen, H. J. And Savic, D. "An evolutionary Bayesian belief network methodology for optimum management of groundwater contamination", Environmental Modelling & Software. 2009
- 20- Dorner, S. Shi, J. and Swayne, D. "Multi-objective modelling and decision support using a Bayesian network approximation to a non-point source pollution model", Environmental Modelling & Software. 2007

22-Cain, J. D. Jinapala, K. Makin, I.W. Somaratna, P.G. Ariyaratnab, B.R. and Perera, L.R. "Participatory decision support for agricultural management. A case study from Sri Lanka", Sri Lanka, Agricultural Systems. 2003

23-Poulakis, Z. Valougeorgis, D. and Papadimitriou, C.. "Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework", Probabilistic Engineering Mechanics. 2003

24- Reggiani, P. and Weerts, A." Bayesian apporoach to decision-marking under uncertainty : An application to real-time forecasting in the river Rhine", Journal of Hydrology. 2008
