پژوهش‌های محیط‌زیست، سال 3، شماره 5، بهار و تابستان 1391، از صفحه 57 تا 66

استفاده از روش مدل‌سازی بیزین در مدیریت و حفاظت حیات وحش (مطالعه موردی ارزیابی رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی)

فروغ گودرزی[1*]، حسین بشری[2]، محمودرضا هامی[3]

1 دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌دریایی، دانشگاه تربیت‌مدرس
2 استادیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
3 دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: 1390/4/20؛ تاریخ تصویب: 1390/12/22)

چکیده

مدل‌های زیستگاه فقط بخشی از تنوع‌زیستی را مورد توجه قرار می‌دهند، اما به‌خوبی می‌توانند در مدیریت یک یا چند گونه مورد استفاده قرار گیرند. این مدل‌ها به عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری در پیش‌بینی تغییرات متغیرهای زیستگاهی و تأثیر آن بر رضامندی زیستگاه گونه‌ها سودمند هستند. گوزن زرد ایرانی از جمله گونه‌هایی است که با وجود اهمیت جهانی، اولویت‌های زیستگاهی ناشناخته‌ای دارد که هنوز در طرح‌های آزمایشی مورد بررسی قرار نگرفته است و فقط تجربیات و دانش متخصصان، مبنای تصمیم‌گیری‌ها قرار می‌گیرد. در این مطالعه نشان داده شده است که چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌سازی بیزین اطلاعات علمی موجود در منابع با قالب‌های مختلف و دانش کیفی متخصصان را به‌عنوان منبع با ارزش اطلاعاتی با یکدیگر تلفیق و به شکل ابزار مدیریتی استفاده کرد. همواره این نوع داده‌ها با میزانی از عدم اطمینان همراه است، اما مدل‌سازی بیزین این عدم اطمینان را تعدیل کرده و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌ها قرار گیرد. در این مطالعه، با استفاده از منابع موجود و آرای کارشناسان صاحب نظر، عوامل کلیدی مؤثر بر رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی شناسایی و به صورت نمودار علّت و معلولی در چارچوب مدل باور بیزین قرار گرفتند. چگونگی روابط این متغیرهای مؤثر بر رضامندی زیستگاه با احتمالاتی که از متخصصان اخذ شد در مدل تعریف و سپس پاسخ خروجی مدل (رضامندی زیستگاه) به تغییر هر یک از متغیرهای ورودی بررسی شد. با انجام تحلیل سناریو و حساسیت سنجی، مدل به‌دست آمده اعتبارسنجی شد. این مدل علاوه بر اینکه درصد اطمینان از پیش‌بینی رفتار سیستم را ارائه می‌کند، می‌تواند همگام با افزایش اطلاعات در خصوص اولویت‌های زیستگاهی گوزن زرد ایرانی، به‌هنگام شده و صحّت آن افزایش یابد.

کلید واژه‌ها: شبکه‌های باور بیزین، مدل‌سازی، رضامندی زیستگاه، گوزن زرد ایرانی، Netica

* نویسنده مسئول: Email: fgh_goudarzi@yahoo.com

سرآغاز

مفهوم زیستگاه به‌عنوان شاخص کیفی محیط‌زیست، به ترکیبی از ویژگی‌های فیزیکی و زیستی که توسط گونه‌ای خاص ترجیح داده می‌شود، اشاره دارد. انتخاب زیستگاه‌های متفاوت، بازتابی از سازگاری گونه‌های متفاوت به این ویژگی‌هاست (Paquet and Darimont, 2010). در دستورالعمل ارائه شده با IUCN از ارزیابی رضامندی زیستگاه یک گونه، به‌عنوان عاملی کلیدی و مهم در برنامه‌ریزی‌های معرفی مجدد یاد شده است (IUCN, 1998). از طرف دیگر، مدیریت زیستگاه‌ها و حیات وحش نیازمند اطلاعاتی در مورد زیستگاه‌های مطلوب گونه و عوامل مؤثر بر رضامندی زیستگاه است. در حال حاضر، کمّی‌سازی روابط بین متغیرهای اکولوژیکی به‌عنوان یکی از اولویت‌های اکولوژیکی کاربردی مطرح شده است (Marcot et al., 2006a). این در حالی است که اطلاعات درباره گونه‌ها و زیستگاه آن‌ها همواره با میزانی از عدم اطمینان[1] و تغییرپذیری[2] همراه است. عدم اطمینان به دلیل نقص اطلاعاتی و دانش ما است که ناشی از محدودیت در مشاهدات، یا درک ما از سیستم است. تغییرپذیری نیز به تغییرات سامانه اکولوژیکی در طول زمان و مکان اشاره دارد که این تغییرات ممکن است منشاء طبیعی، یا انسانی داشته باشند (McCann et al., 2006). بنابراین مدیران منابع طبیعی علاقه‌مند به استفاده از ابزارهایی هستند که این تغییرپذیری و عدم اطمینان را در قالب واکنش احتمالی، یا بالقوه سیستم نشان دهد.

عدم اطمینان را می‌توان با جمع‌آوری داده‌های تجربی و انجام آزمایش، کاهش داد (Fieberg and Jenkins, 2005). با وجود این، در شرایطی که یک گونه در خطر انقراض، یا تهدید است، مدیران نمی‌توانند برای مدت طولانی در انتظار مطالعات علمی بیشتر برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بمانند. در این موارد ممکن است اطلاعات موجود علاوه بر داده‌های تجربی شامل دانش و نظر کارشناسی نیز باشد (Martin et al., 2005). دانش کارشناسی در مدل‌سازی اکولوژیکی منبع با ارزشی است که نباید ناچیز شمرده شود و با تلفیق آن با داده‌های میدانی، نتایج به طور معنی‌داری بهبود یافته (Smith et al., 2007) و در تصمیم‌گیری‌ها، هنگام محدود بودن داده‌های علمی بسیار سودمند است (Clark, 2005).

مطالعات متعددی، سودمندی شبکه‌های بیزین[3] را در استفاده و ترکیب دانش کارشناسی و داده‌های آزمایشی برای مدل‌سازی وتبدیل داده‌های کیفی به مدل‌های کمّی اثبات کرده است (Clark, 2005; Smith et al., 2007; Bashari et al., 2009; Johnson et al., 2010; Nash et al., 2010). روش مدل‌سازی بیزین در زمینه‌های گوناگون که داده‌های موجود دارای عدم اطمینان زیادی است نظیر مدیریت بوم‌سازگان[4] (McNay et al., 2006; Nyberg et al., 2006; Bashari et al., 2009; Howes et al. 2010) و گونه‌ها (Marcot, 2006b; Pullar and Phan, 2007; Newton, 2010; Johnson et al., 2010) مورد استفاده قرار گرفته است.

شبکه‌های باور بیزین (Bayesian Belief Networks) یا به‌طور مخفف BBNs با عناوین دیگری نظیر شبکه‌های اعتقادی[5]، شبکه‌های بیز[6] و شبکه‌های احتمالی معمولی[7] (Uusitalo, 2007) نیز شناخته می‌شوند. این شبکه‌ها در طیف گسترده‌ای از مسائل، از تجزیه و تحلیل داده‌های متنی گرفته تا تشخیص طبّی استفاده می‌شوند. روش‌های مدل‌سازی بیزین ویژگی‌های متعددی داشته که آن‌ها را در تجزیه و تحلیل بسیاری از مستندات و مسائل مدیریتی، سودمند کرده است. این شبکه‌ها شرایط و چارچوب مناسبی را برای ترکیب داده‌های آزمایشی با دانش کارشناسی فراهم می‌کنند (Uusitalo, 2007). استفاده از این روش منجر به سهولت درک روابط علّت و معلولی میان متغیرها شده و می‌تواند با سایر ابزارهای تحلیلی برای تصمیم‌های مدیریتی ترکیب شده و ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری[8] را ایجاد کنند (Marcot et al, 2001).

شبکه‌های باور بیزین مدل‌های ریاضی و در همه‌سان تصویری هستند. تصویری بودن این ابزار چارچوبی را برای مدیران، کارشناسان و تصمیم‌گیران ذی‌ربط فراهم می‌سازد تا بتوانند افکار و آرای پراکنده خود را سازماندهی کرده و با سهولت بیشتری تصمیم‌های مدیریتی خود را اتخاذ کنند. با توجه به اینکه این شبکه‌ها دارای توانایی به‌روز شدن هستند، در صورت کسب اطلاعات بیشتر در مورد شرایط زیستگاهی و چگونگی کنش و واکنش گونه، یا گونه‌های مورد نظر در برابر عوامل مختلف اکولوژیکی و مدیریتی، می‌توان این مدل‌ها را به‌هنگام کرد.

هدف از این مطالعه ارائه نمونه‌ای موردی برای نشان دادن چگونگی استفاده از شبکه‌های باور بیزین برای مدیریت حیات وحش است، به‌ویژه زمانی‌که بخشی از منابع اطلاعاتی موجود، داده‌ها و آرای کارشناسی است. در این مقاله نحوه کمّی کردن

داده‌های کیفی در قالب ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری برای گونه گوزن زرد ایرانی نشان داده شده است.

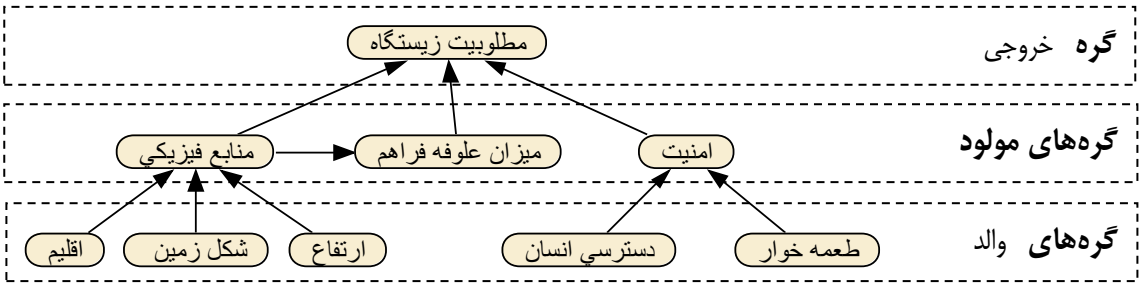
روش پژوهش

هر BBN نشان‌دهنده روابط علّت و معلولی عوامل تأثیرگذار در سیستم (در این مطالعه عوامل محیطی یا زیستگاهی بر متغیرهای پاسخ‌دهنده اکولوژیکی) است (Marcot et al., 2006a). در یک BBN، هر متغیر با یک گره نمایش داده می‌شود، به‌طوری که تعداد گره‌ها مبین تعداد متغیرهای درگیر در فرایند مدل‌سازی است. ساختار BBN بیشتر از سه نوع گره تشکیل شده است: گره‌های ورودی که حاوی احتمالات پیشین بوده و نشان‌دهنده شرایط واقعی‌اند (شرایط زیستگاهی)، گره‌های بینابینی که حاوی آرای کارشناسی، یا مطالعات میدانی در قالب جداول احتمال شرطی (CPTs)[9] است و گره خروجی که حاوی احتمالات پسین است (رضامندی زیستگاه) (McNay et al., 2006). در واقع احتمالات پیشین پس از اعمال آرای کارشناسی، احتمالات پسین را به‌دست می‌دهد که مبنای تصمیم‌گیری‌ها خواهد بود.

استفاده از احتمالات در این شبکه‌ها به عنوان مقیاسی از عدم اطمینان است. آرا درباره چگونگی تأثیر متغیرهای مختلف بر یکدیگر با توزیع احتمالات بیان می‌شوند. هر چه درجه عدم اطمینان در رابطه با نحوه تأثیر دو متغیر بیشتر باشد منجر به توزیع احتمال وسیع‌تر می‌شود. با گذشت زمان و انجام مطالعات و کسب دانش از چگونگی تعامل بین متغیرهای مختلف در سیستم، از عدم اطمینان در مورد مقادیر داده‌ها کاسته و توزیع احتمال باریک‌تر می‌شود.

ترسیم نمودار تأثیر

برای شروع فرایند مدل‌سازی ابتدا نمودار تأثیر از عوامل علّت و معلولی تهیه شد. این نمودار شامل جعبه‌هایی است که با پیکان‌هایی به هم مرتبط شده‌اند و جهت پیکان‌ها نشان‌دهنده روابط و تأثیر میان متغیرهاست، به‌طوری‌که گره‌های والد[10] بر گره‌های مولود[11] تأثیر گذارند و جهت پیکان‌ها از گره والد به گره مولود است (شکل 1).



شکل(1): نمودار تأثیر عوامل مؤثر بر رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی.

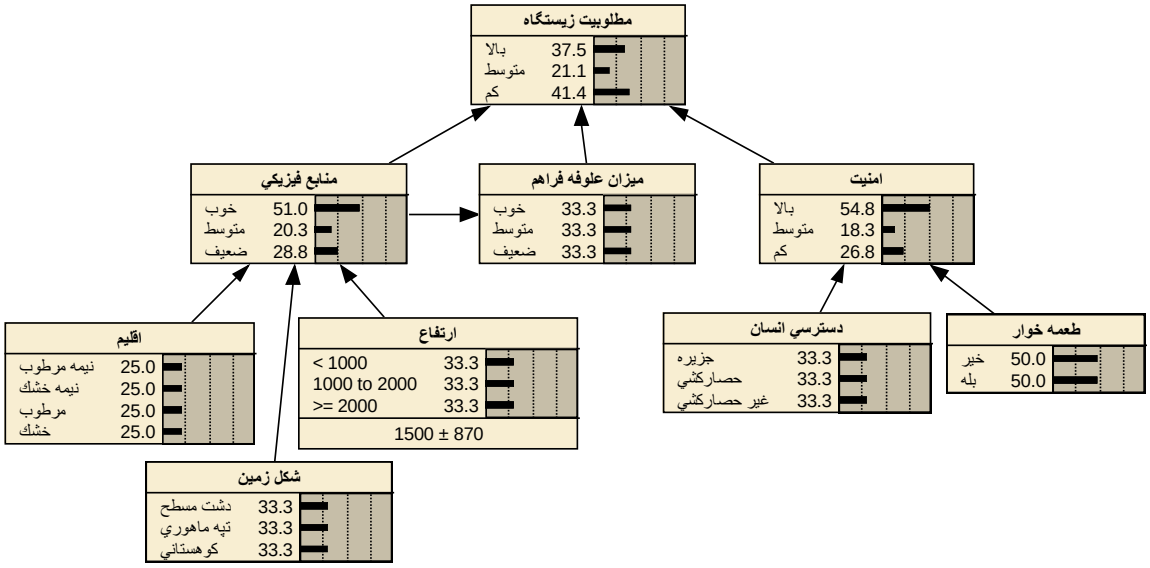
در این شکل عوامل تأثیرگذار با پیکان‌هایی به هم مرتبط شده‌اند و جهت پیکان نشان‌دهنده جهت تأثیر است. گره‌های ورودی (طعمه‌خوار[12]، دسترسی انسان[13]، ارتفاع[14]، شکل زمین[15]، اقلیم[16]) حاوی احتمالات پیشین، گره‌های بینابینی[17] (امنیت[18]، میزان علوفه فراهم[19]، منابع فیزیکی[20]) حاوی آرای کارشناسی و گره خروجی (رضامندی زیستگاه) حاوی احتمالات پسین است.

تبدیل نمودار تأثیر به BBN اولیه

در ساخت مدل، نمودار تأثیر با استفاده از نرم‌افزارهای موجود مانند Netica (Norsys software) و HUGIN به یک BBN تبدیل می‌شود که در این مطالعه از نرم‌افزار Netica استفاده شد. در صورتی‌که بتوان برای هر گره (عامل) مجموعه‌ای از حالت‌ها را تعریف کرد، نمودار تأثیر به BBN اولیه تبدیل می‌شود. تعیین حالت‌های مختلف برای هر گره نیز با مرور منابع و نظر کارشناسی امکان‌پذیر است. برای نمونه در شکل (2)، حالت‌های تعیین شده برای رضامندی زیستگاه شامل رضامندی بالا، متوسط و پایین است.

وارد کردن داده‌ها به مدل و ساختن BBN

در BBN داده‌ها باید در قالبی باشند که Netica به‌راحتی بتواند احتمالات را برای تشکیل جداول احتمال شرطی استخراج کند.



شکل (2): مدل ارائه شده برای پیش‌بینی رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی

بهترین راه برای تعریف احتمالات بین گره‌های مولود و والدهای آن، تهیه جداول احتمال شرطی (CPTs) است. جدول احتمال شرطی، جدولی است که به‌ازای هر ترکیب ممکن از حالت‌های والد، به گره مولود یک احتمال اختصاص می‌دهد. جدول احتمال شرطی، جدولی N+1 بُعدی است (N برابر است با تعداد گره‌های والد) که می‌توان آن را در دو بُعد خلاصه کرد. به این صورت که همه حالت‌های گره والد را در یک بُعد و همه حالت‌های گره مولود را در بُعد دیگر قرار داد.

برای پر کردن این جدول سه راه وجود دارد: 1. پر کردن جداول به صورت دستی که در مدل تهیه شده برای مطلوبیت زیستگاه گوزن‌زرد نیز بعد از جمع‌آوری آرای متخصصان، جداول به همین صورت تکمیل و وارد مدل شدند. 2. روابط به صورت معادله تعریف شوند و ورودی مدل به صورت معادله باشد. 3. جمع‌آوری داده‌های موردی[21] به عنوان ورودی مدل که بخشی از جامعه‌ای که مورد بررسی است، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین می‌توان از اطلاعات فراوانی که از این موارد به‌دست می‌آید احتمالات را استخراج کرد. همچنین برای آزمودن و به‌روز کردن مدل نیز از داده‌های موردی استفاده می‌شود.

بعد از وارد کردن احتمالات به صورت جدول احتمالات شرطی درون مدل، احتمال وقوع هر حالت از هر گره با توجه به فراوانی وقوعی که در جدول احتمالات برای آن تعریف شده است، تغییر می‌کند.

به طورکلی سه جدول احتمال شرطی از گره‌های مولود (امنیت، منابع فیزیکی و رضامندی زیستگاه) در دست بود. جداول احتمال شرطی برخی گره‌ها به دلیل تعدد گره‌ها، یا حالت‌های گره‌های والد، بسیار بزرگ بودند. از آنجا که داده‌های کافی برای پر کردن جداول احتمال شرطی در دسترس نبود، باید با استفاده از آرای کارشناسان آشنا به اکولوژی گوزن زرد تکمیل می‌شدند و البته پر کردن جداول بزرگ با سناریوهای متعدد موضوعی دشوار می‌نمود.

در ترکیب حالت‌های گره‌های والد، سناریوهای متعددی برای گره‌های مولود به‌دست می‌آید، بنابراین از برنامه محاسبه‌گر جدول احتمال شرطی[22] برای انتخاب تعدادی سناریو از کل آن‌ها برای هر گره مولود استفاده شد. به عبارت دیگر، احتمالات استخراج شده برای سناریوهای منتخب به‌عنوان نقاط مرجع[23] برای اخذ احتمالات سناریوهای باقیمانده در جداول احتمال شرطی استفاده می‌شوند. برای پر کردن جداول احتمالات شرطی، سناریوهای منتخب برای سه متخصص موضوع ارسال و از میانگین آرای آن‌ها استفاده شد. در نهایت متوسط آرا به‌عنوان نقاط مرجع برای استخراج احتمالات در محاسبه‌گر جدول احتمال شرطی وارد شد. در شکل (3) جدول احتمال شرطی گره خروجی (رضامندی زیستگاه) نشان داده است. این شکل نشان می‌دهد که چگونه احتمال وقوع هر سناریو براساس نظر کارشناسی تخمین زده شده و به درصد بیان شده است.

در نهایت رفتار مدل با ترکیباتی از ورودی‌های مختلف آزموده شد و احتمالات به‌دست آمده برای گره‌ها (ورودی و خروجی) مورد بررسی قرار گرفت. اگر مدل، رفتاری غیر واقعی و پیش‌بینی نشده بروز می‌داد، جداول احتمال شرطی مجدداً تنظیم و به‌سازی می‌شدند تا زمانی که مدل پاسخ معقول و پیش‌بینی شده را در پی داشته باشد. نتیجه این اقدامات افزایش حساسیت مدل هماهنگ با رفتار پیش‌بینی شده (رفتاری که مدل باید داشته باشد) بود (Marcot et al., 2006b).

Habitat_Suitability Table (in net habitat_for_paper_elmi_pazhohe)

Node: Habitat_Suitability | Apply | Okay | Reset | Close

Chance | % Probability

Security	Physical ...	Forage c...	High	Moderate	Low
High	Good	Good	100	0	0
High	Good	Moderate	67	21	12
High	Good	Poor	60	20	20
High	Moderate	Good	65	20	15
High	Moderate	Moderate	60	22	18
High	Moderate	Poor	55	25	20
High	Poor	Good	50	30	20
High	Poor	Moderate	35	37	28
High	Poor	Poor	30	34	36
Medium	Good	Good	25	25	50
Medium	Good	Moderate	18	27	55
Medium	Good	Poor	15	26	59
Medium	Moderate	Good	16	27	57

شکل (3): جدول احتمال شرطی مربوط به گره خروجی (رضامندی زیستگاه)

در این جدول احتمال وقوع هر سناریو بر اساس نظر کارشناسی تخمین زده شده و به درصد بیان شده است. این جدول مطابق آرای کارشناسی نشان می‌دهد که در شرایط بالا بودن امنیت زیستگاه و داشتن منابع فیزیکی و علوفه‌ای خوب، به احتمال 100 درصد رضامندی زیستگاه بالا خواهد بود.

ارزیابی مدل

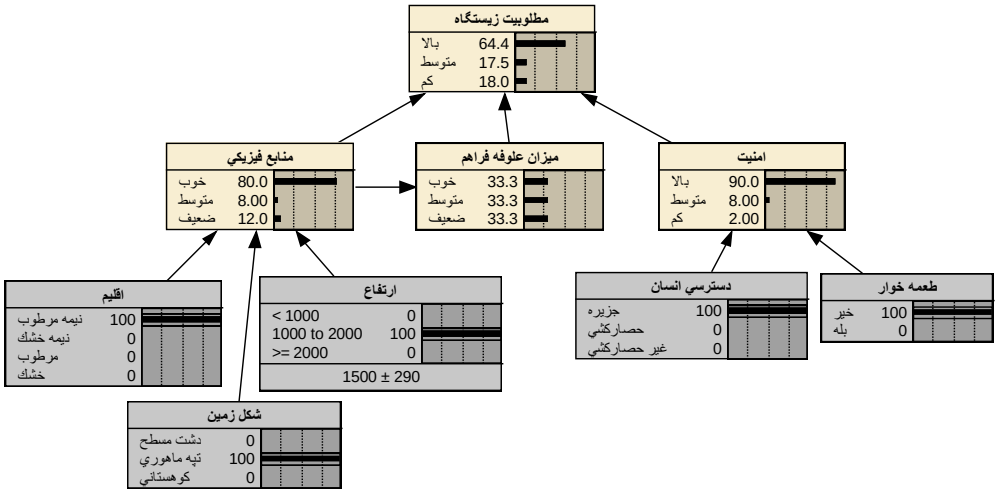
هدف از این مرحله آن است که ارزیابی شود آیا مدل برای یک منظور معین سودمند واقع می‌شود یا خیر. اما در این کار بیشتر تأکید بر آن است که پیش‌بینی‌های مدل را با مشاهداتی که از سیستم واقعی انتخاب شده‌اند، به طور کمّی و اغلب به صورت آماری مقایسه کرد (محمدرضایی‌عمران و اسکافی، 1388). از آنجا که هیچ داده‌ای در مورد رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی در دست نیست، بنابراین در فرایند ارزیابی مدل به آزمون حساسیت مدل اکتفا شد. در شرایطی که داده‌های میدانی از شرایط زیستگاه‌های گوزن زرد ایرانی در دست بوده و بر اساس آن معیاری برای رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی تعریف شده باشد، می‌توان نتایج مدل را با واقعیت و معیار در نظر گرفته شده مقایسه و میزان صحّت آن را سنجید.

حساسیت‌سنجی مدل [24]: حساسیت‌سنجی در نظریه تصمیم برای بررسی عدم اطمینان در مورد مشخصه‌های مدل و اثر آن‌ها روی خروجی مدل استفاده می‌شود (Hamby, 1994) و شامل بررسی میزان حساسیت گره هدف به تغییرات در ورودی‌های شبکه است. حساسیت‌سنجی در نرم افزار Netica برای تعیین اینکه چه‌طور تغییر در حالت یک متغیر سایر متغیرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، توسعه یافته است. در مورد شبکه‌های بیزین حساسیت‌سنجی به معنی بررسی تغییرات در احتمالات گره‌های هدف به عنوان تابعی از تغییرات در مقادیر جداول احتمال شرطی شبکه است. این عمل در مدل بیزین برای یافتن متغیرهایی که رفتار سیستم را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و همین‌طور یافتن متغیرهایی که سیستم به تغییرات آنها چندان حساس نیست استفاده می‌شود. با انتخاب هر حالت از گره مورد نظر، Netica احتمال را برای آن حالت 100٪ فرض کرده و احتمالات را برای سایر گره‌ها در کل شبکه تخمین می‌زند (Howes et al., 2010). میزان حساسیت رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی به هر یک از عوامل تأثیرگذار بر آن در Netica بررسی شد.

یافته‌ها

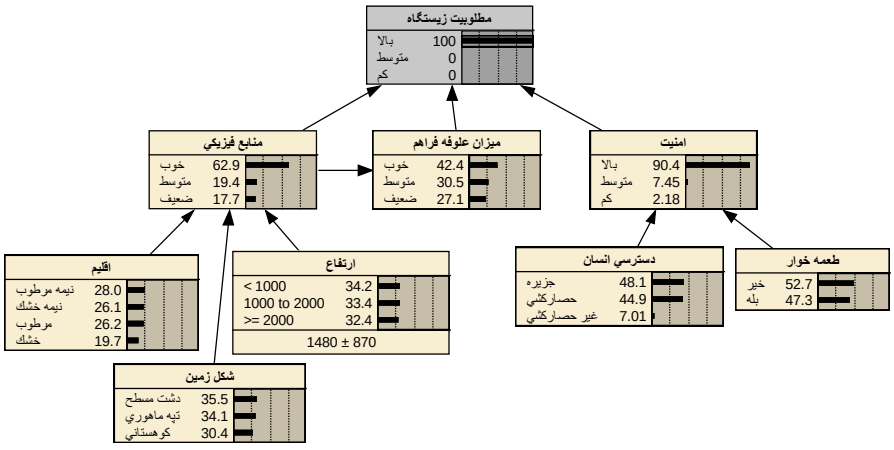
مدل تشخیصی[26] و پیش‌بینی کننده[25]

در وارد کردن یافته‌ها[27]، یک حالت از یک گره در شبکه انتخاب و احتمال آن 100٪ می‌شود. به دنبال این تغییر، توزیع احتمالات سایر گره‌ها در شبکه تغییر می‌کند. این ویژگی خود به صورت مدل «پیش‌بینی کننده» و «تشخیصی» قابل استفاده است. در مدل پیش‌بینی کننده یک حالت از گره والد انتخاب و تغییرات توزیع احتمالی در بین گره‌های مولود بررسی می‌شود و در مدل تشخیصی با انتخاب حالت‌هایی از گره‌های مولود، تغییر در توزیع احتمالات گره والد مشاهده می‌شود. برای نمونه در حالتی که عوامل کلیدی مؤثر بر رضامندی زیستگاه، مطابق شرایط جزیره اشک باشد، احتمال اینکه رضامندی زیستگاه بالا، متوسط و یا پایین باشد به ترتیب 64/4، 17/5 و 18 درصد می‌باشد (شکل 4). همچنین مطلوبیت بالای زیستگاه گوزن زرد ایرانی، همان‌طور که در شکل (5) مشاهده می‌شود، با عدم حضور طعمه‌خوار و انسان (امنیت بالای زیستگاه)، وجود زیستگاه دشتی با اقلیم نیمه مرطوب و ارتفاع کمتر از 1000 متر از سطح دریا (منابع فیزیکی مناسب) و بالا بودن کمّیت و کیفیت علوفه در دسترس تعریف می‌شود.



شکل (4): مدل پیش‌بینی‌کننده رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی در جزیره اشک

در این منطقه، عدم حضور طعمه‌خوار برای گوزن زرد و حفاظت شده بودن منطقه (عدم حضور انسان) در کنار منابع فیزیکی مناسب، سبب بالا بودن رضامندی زیستگاه برای گوزن زرد ایرانی شده است.

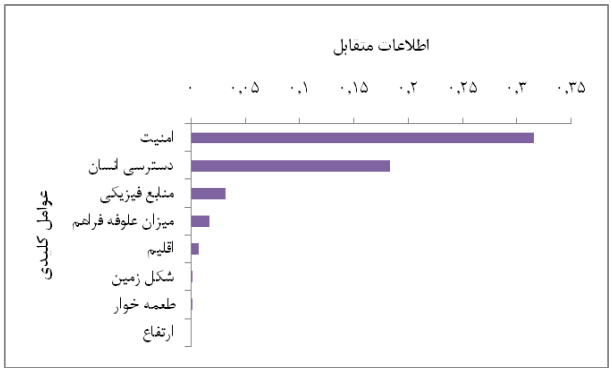


شکل (5): مدل تشخیصی رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی

این مدل نشان می‌دهد برای داشتن رضامندی زیستگاهی بالا، هر یک از متغیرهای زیستگاهی باید در چه حالتی باشند.

حساسیت‌سنجی مدل

مطابق نتایج حساسیت‌سنجی (شکل 6)، امنیت زیستگاه مؤثرترین عامل در رضامندی آن است و دسترسی انسان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده امنیت است. منابع فیزیکی که میزان علوفه فراهم در رأس آن است در درجه بعدی اهمیت قرار می‌گیرند.



شکل (6): نتایج حساسیت سنجی مدل رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی

در این نمودار میزان حساسیت رضامندی زیستگاه نسبت به هر یک از عوامل مؤثر نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه با ترکیب داده‌های آزمایشی و دانش متخصصان، در چارچوب شبکه عقیده‌ای بیزین، به مدل‌سازی رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی پرداخته و مشاهده شد که چگونه BBN:

1. با کنار هم قرار دادن داده‌های مختلف با سطوح اطمینان متفاوت، می‌تواند بهترین زیستگاه گوزن زرد را معرفی کند
2. در کنار جهت دادن به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، مقدار ریسک تصمیم را نشان دهد
3. به عنوان ابزاری آموزشی برای افرادی که می‌خواهند وارد فرآیند تصمیم‌گیری رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی شوند ایفای نقش کند.

قصد ما از انجام این مطالعه معرفی روش بیزین به عنوان جایگزینی برای مطالعات، یا مدل‌های دیگر ارزیابی زیستگاه نبوده؛ بلکه هدف به نمایش گذاشتن توانایی این روش در تلفیق مطالعات میدانی با دانش متخصصان در شرایط کمبود داده‌های میدانی است. این ابزار به‌خوبی می‌تواند روابط گونه- زیستگاه را نشان داده و برآورد سریعی از رضامندی زیستگاه ارائه دهد (Smith et al., 2007). همچنین، نتایج حساسیت‌سنجی آرای متخصصان را تأیید کرده و نشان می‌دهد که امنیت زیستگاه تا چه اندازه رضامندی آن را برای این گونه تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی این عامل باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

کاربرد مدل‌سازی بیزین در بوم‌شناسی چندان جدید نیست و پیش از این نیز در مسائل مربوط به مدیریت منابع طبیعی در دنیا استفاده شده است، اما با این حال در بین مدیران حیات وحش ایران تا حدی ناشناخته مانده است و فقط اشارات پراکنده‌ای به مدل‌های احتمال بیزین در منابع وجود دارد. بنابراین، از این مدل‌ها می‌توان در مدیریت حیات وحش ایران با توجه به کمبود داده و اطلاعات اکولوژیکی در دسترس استفاده کرد. گوزن زرد ایرانی از جمله گونه‌هایی است که در ایران سابقه زیست طولانی دارد، اما مطالعات در مورد آن بسیار اندک و در برخی موارد نامطمئن است در نتیجه داده‌هایی مدون در مورد بوم‌شناسی گونه و زیستگاه آن در دسترس نبوده و برای جبران آن برای تعیین احتمالات از آرای متخصصان استفاده شد.

طبق نتایج حساسیت‌سنجی، امنیت زیستگاه، به‌ویژه در ایستگاه‌هایی که گوزن زرد به آنجا معرفی می‌شود، در رضامندی آن برای این گونه نقش بسزایی دارد. اگرچه در مورد رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی و عوامل کلیدی آن در ایران و خارج از کشور مطالعات زیادی صورت نگرفته است؛ اما تعارض انسان با گونه شامل شکار بی‌رویه و تخریب زیستگاه از جمله عوامل مهم تهدید کننده گونه شناخته شده است (Tsahar et al., 2009; Chapman, 2010). کرمی (1365) چرای مفرط، قطع درختان جنگلی، تخریب زیستگاه، شکار، یا صید گوزن‌ها و طعمه‌خواری در کنار عوامل تصادفی را تهدیدکننده‌های عمده جمعیت گوزن زرد در ایستگاه دز دانسته که این عوامل امروزه در بیشتر ایستگاه‌های حضور گوزن زرد، جزء عوامل مهم تهدیدکننده گونه می‌باشد. افزون بر شکار توسط انسان، حضور طعمه‌خواران نیز در میزان امنیت منطقه مؤثر است. شکار گوساله‌های گوزن زرد در دشت ناز توسط گربه جنگلی (Felis chaus) به‌دفعات گزارش شده و اخیراً تصویری از پلنگ (Panthera pardus)، در سایت میانکتل توسط دوربین‌های تله‌ای به ثبت رسیده است. بعد از

امنیت، شرایط فیزیکی از جمله اقلیم، ارتفاع و پستی و بلندی زمین در رضامندی زیستگاه حائز اهمیت است.

البته با جمع‌آوری داده‌های موردی می‌توان این مدل را به‌هنگام نموده و صحّت مدل را افزایش داد. همچنین با شناسایی سایر عوامل کلیدی در رضامندی زیستگاه گوزن زرد ایرانی و اضافه کردن آن به مدل، دقت آن را بالا برد. تصویری و شفاف بودن این ابزار نیز چارچوب ساده و قابل فهمی را برای مدیران، کارشناسان و تصمیم‌گیران ذی‌ربط فراهم می‌سازد تا بتوانند افکار و آرای پراکنده خود را ساماندهی کرده و با سهولت بیشتری تصمیم‌های مدیریتی خود را اتخاذ کنند. با توجه به اینکه مدل‌های BBNs دارای توانایی به‌هنگام شدن هستند، در صورت کسب اطلاعات بیشتر در مورد شرایط زیستگاهی و چگونگی کنش و واکنش گونه مورد نظر در برابر عوامل مختلف اکولوژیکی و مدیریتی می‌توان این مدل را به‌هنگام نمود. نتایج حساسیت‌سنجی مدل اطلاعات ارزشمندی در مورد میزان تأثیر هر یک از عوامل زیستگاهی بر رضامندی زیستگاه گوزن زرد در اختیار ما قرار می‌دهد. واضح است که بررسی اینکه چرا این عوامل دارای اهمیت است، یا برخی عوامل دیگر دارای اهمیت زیادی نیستند می‌تواند ما را در شناسایی مناطق مناسب برای معرفی مجدد گوزن زرد رهنمون سازد.

مدل ارائه شده در این مقاله می‌تواند مبنای مطالعات آتی قرار گیرد. مزیت عمده این ابزار مدل‌سازی کم‌هزینه، انعطاف‌پذیری آن در استفاده از انواع داده‌ها با منشاء کارشناسی یا داده‌های میدانی است و برای هر دو نوع داده، عدم اطمینان را به‌خوبی نشان می‌دهد. در صورتی که لایه‌های اطلاعاتی رقومی شده هر یک از متغیرهای محیطی مانند نقشه پوشش گیاهی منطقه در دست باشد، می‌توان متغیرهای آماده‌سازی شده در سامانه اطلاعات جغرافیایی[28] (لایه‌های رقومی) را به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفت، آنگاه بر اساس خروجی که مدل به‌دست می‌دهد مناطق مناسب و مطلوب زیستگاهی را نقشه‌بندی کرد.

سپاس

از دکتر بهرام حسن‌زاده کیابی، مهندس هوشنگ ضیایی و دکتر عبدالرسول سلمان ماهینی که با ارائه اطلاعات ارزنده در ساخت مدل به ما کمک کردند، سپاسگزاریم. همچنین از همکاری کارشناسان محترم ادارات حفاظت محیط‌زیست؛ مهندس محمّد نصرتی و مهندس سیده مرضیه موسوی (سازمان حفاظت محیط‌زیست) مهندس شریعتی (فارس)، مهندس حیدری (خاتم)، مهندس پارسافرد (بیجار)، مهندس ربیعی (ساری)، مهندس جعفری و مهندس جهانی (ایلام)، مهندس سلمانزاده (ارومیه) و محیط‌بانان محترم؛ مهندس حاجی‌کلی (کرخه)، آقای تقی‌زاده (جزیره اشک) و مهندس صادق‌صبا (دز) کمال تشکر را داریم.

یادداشت‌ها

1. Uncertainty
2. Variability
3. Bayesian Networks
4. Ecosystem
5. Belief Networks
6. Bayes Nets
7. Causal probabilistic networks
8. Decision support tools
9. Conditional Probability Tables
10. Parent Node
11. Child Node
12. Predator
13. Human Access
14. Elevation
15. Terrain
16. Climate
17. Intermediate Node
18. Security
19. Forage Condition
20. Physical Resources
21. Case Data
22. CPT Calculator
23. References Point
24. Sensitivity Analysis
25. Diagnostic
26. Predictive
27. Findings
28. Geographic Information System (GIS)

فهرست منابع

محمدرضایی‌عمران، ش.؛ اسکافی، ف. 1388. اکولوژی و مدیریت منابع طبیعی: تجزیه و تحلیل سیستمی و شبیه‌سازی، انتشارات آییژ، تهران، 342 ص.

کرمی، م. 1365. نظریه جغرافیای زیستی جزیره و اهمیت آن در مدیریت و گزینش ذخایر طبیعی، محیطشناسی، سال سیزدهم، شماره 14.

Bashari, H.; Smith, C. & Bosch, O. J. H. 2009. Developing decision Support Tools for range land management By combining state and transition Models and Bayesian Belief Networks. Agricultural Systems, 99(1): 23- 34.

Cain, J. 2001. Planning Improvements in Natural Resources Management - Guidelines for Using Bayesian Networks to Support the Planning and Management of Development Programmes in the Water Sector and Beyond. Centre for Ecology and Hydrology, Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxon, OX10 8BB, UK.

Chapman, N. G. 2010. The possible role of enclosures in the conservation of threatened deer. Proceedings of the International Symposium, Enclosures: a dead-end: 28- 37.

Clark, J. S. 2005. Why environmental scientists are becoming Bayesians. Ecology Letters, 8(1):2- 14.

Fieberg, J. & Jenkins, J. K. 2005. Assessing uncertainty in ecological systems using global sensitivity analyses: a case example of simulated wolf reintroduction effects on elk. Ecological Modeling, 187(2- 3): 259- 280.

Hamby, D. M. 1994. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. Environmental Monitoring and Assessment, 32 (2): 135- 154.

Howes, A. L.; Maron, M. & McAlpine, C. A. 2010. Bayesian Networks and Adaptive Management of Wildlife Habitat, Conservation Biology, 24(4): 974- 983.

IUCN 1998. IUCN/SSC Guidelines for Reintroductions. IUCN/SSC Reintroduction Specialist Group, IUCN, Gland, Switzerland.

Johnson, S.; Mengersen, K.; Waal, A.; Marnewick, K.; Cilliers, D.; Houser, A. M. & Boast, L. 2010. Modelling cheetah relocation success in southern Africa using an Iterative Bayesian Network Development Cycle. Ecological Modelling, 221(1- 4): 641- 651.

Marcot, B. G.; Steventon, J. D.; Sutherland, G. D. & McCan, R. K. 2006a. Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. Canadian Journal of Forest Research, 36(12): 3063- 3074.

Marcot, B. G.; Hohenlohe, P. A.; Morey, S.; Holmes, R.; Molina, R.; Turley, M.C.; Huff M. H. & Laurence, J. A. 2006b. Characterizing species at risk II: Using Bayesian belief networks as decision support tools to determine species conservation categories under the Northwest Forest Plan. Ecology and Society, 11(2): 12- 22. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art12/

Marcot, B. G.; Holthausen, R. S.; Raphael, M. G.; Rowland, M. M. & Wisdom, M. J. 2001. Using Bayesian Belief Networks to evaluate fish and wildlife population viability under land management alternatives from an environmental impact statement. Forest Ecology and Management, 153(1- 3): 29- 42.

Martin, T. G.; Kuhnert, P. M.; Mengersen, K. & Possingham, H. P. 2005. The Power of Expert Opinion in Ecological Models Using Bayesian Methods: Impact of Grazing on Birds. Ecological Applications, 15(1): 266- 280.

McCann, R. K.; Marcot, B. G. & Ellis, R. 2006. Bayesian Belief Networks: applications in ecology and natural resources management. Canadian Journal of Forest Research, 36(12): 3053- 3062.

McNay, R. S.; Marcot, B. G.; Brumovsky, V. & Ellis, R. 2006. A Bayesian approach to evaluate habitat for woodland caribou in north- central British Columbia. Canadian Journal of Forest Research, 36(12): 3117- 3133.

Nash, D.; Hannah, M.; Robertson, F. & Rifkin, P. 2010. A Bayesian network for comparing dissolved Nitrogen exports from high rainfall cropping in southeastern Australia. Journal of Environmental Quality, 39(5): 1699- 1710.

Norsys Software Corporation. 2010. Netica 4.16. Norsys Software, Vancouver, British Columbia.

Newton, A. C. 2010. Use of a Bayesian network for Red Listing under uncertainty. Environmental Modelling and Software, 25(1): 15- 23.

Nyberg, J. B.; Marcot, B. G. & Sulyma, R. 2006. Using Bayesian Belief Networks in adaptive management. Canadian Journal of Forest Research, 36(12): 3104- 3116.

Paquet, P. C. & Darimont, C. T. 2010. Wildlife conservation and animal welfare: two sides of the same coin? Animal Welfare, 19(2): 177- 190.

Pullar, D. V. & Phan, T. H. 2007. Using a Bayesian Network in a GIS to Model Relationships and Threats to Koala Populations Close to Urban Environments. International Congress on Modelling and Simulation, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1370- 1375.

Smith, C. S.; Howes, A. L.; Price, B. & McAlpine, C. A. 2007. Using a Bayesian belief network to predict suitable habitat of an endangered mammal–The Julia Creek dunnart (Sminthopsis douglasi). Biological Conservation, 139(3- 4): 333- 347.

Tsahar, E.; Izhaki, I.; Lev- Yadun, S. & Bar- Oz, G. 2009. Distribution and Extinction of Ungulates during the Holocene of the Southern Levant. PloS ONE, 4: e5316.

Uusitalo, L. 2007. Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modeling. Ecological Modeling, 203(3- 4): 312- 318.