

پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه گربه‌شنی (*Felis margarita*) با استفاده از رویکرد شبکه‌بیزین

لیندا باقریان^۱، محمودرضا همامی^{۱*}، حسین بشری^۲، آزیتا رضوانی^۱

^۱گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
^۲گروه مرتع و ابخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴

چکیده

گربه‌شنی (*Felis margarita*) گربه‌سان کوچکی از خانواده Felidae است که در شن‌زارهای بیابانی آفریقای شمالی، عربستان، آسیای مرکزی، پاکستان و نیز نواحی استپی و بیابانی مرکز ایران پراکنش دارد. این گونه در طبقه‌حداقل نگرانی اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت (IUCN) و در ضمیمه II کنوانسیون منع تجارت گونه‌های در خطر انقراض (CITES) طبقه‌بندی می‌شود. حفاظت موفق از این گونه نیازمند درک جامع از نیازهای زیستگاهی آن است. در این مطالعه مدل مطلوبیت زیستگاه گونه با استفاده از شبکه‌بیزین و باور بیزین و از طریق گردهم‌آوری دانش و اطلاعات موجود، واسنجی، تحلیل حساسیت و تأیید ساخته شد. امکان لانه‌سازی، تراکم طعمه، فاصله از تاغ‌زار و استحکام خاک به‌عنوان مهمترین متغیرهای تعیین‌کننده مطلوبیت زیستگاه گربه‌شنی تشخیص داده شد. صحت کلی مدل (۹۶/۷٪) با استفاده از ۱۲۰ نقطه حضور و عدم حضور گونه در شرق استان اصفهان ارزیابی شد. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از تجزیه و تحلیل حساسیت و بکارگیری داده‌های حاصل از کار میدانی نشان داد که مدل تهیه شده به‌خوبی در جهت تعیین مطلوبیت زیستگاه عمل می‌کند. نتایج این مدل نه تنها توانست مجموع نظر کارشناسی و داده‌های حاصل از نقشه‌های کاربری اراضی را در کنار هم بگذارد، بلکه پایه مناسبی جهت استفاده در مدیریت تطبیقی برای حفاظت از زیستگاه‌های گربه‌شنی ایجاد کرده است.

کلیدواژگان: گربه‌شنی، ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری، حساسیت‌سنجی، شبکه‌بیزین، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه

مقدمه

مفهوم زیستگاه به‌عنوان شاخص کیفی محیط‌زیست، به ترکیبی از ویژگی‌های فیزیکی و زیستی محیط که توسط گونه‌ای خاص ترجیح داده می‌شود، اشاره دارد. انتخاب زیستگاه، بازتابی از سازگاری‌های متفاوت گونه‌ها به این ویژگی‌ها است (Paquet *et al.*, 2010). از دست رفتن زیستگاه و کاهش کیفیت آن از مهمترین عوامل موثر بر زیست‌مندی جمعیت‌های حیات‌وحش است (Owen, 2007). بنابراین حفاظت از زیستگاه نقش به‌سزایی در حفظ گونه‌های حیات‌وحش به‌خصوص گونه‌های در معرض خطر انقراض دارد. آگاهی در مورد حضور یا عدم حضور گونه‌های حیات‌وحش و پراکنش جغرافیایی آن‌ها در سیمای سرزمین برای اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی بسیارحائز اهمیت است. از این‌رو، تعیین مطلوبیت زیستگاه گامی ضروری در مدیریت و حفاظت از گونه‌های حیات‌وحش محسوب می‌شود (Ghadirian *et al.*, 2019). مدل‌سازی زیستگاه از سال ۱۹۷۰ تاکنون به‌سرعت در مدیریت حیات‌وحش مورد استفاده قرار گرفته و ابزاری مناسب برای غلبه بر مشکل کمبود زمان و بودجه معرفی شده است (Anderson *et al.*, 2000). اساس کار این مدل‌ها کمی نمودن روابط بین احتمال حضور گونه و محیط زنده و غیرزنده است (Rushton, 2004). در نهایت موفقیت مدل‌های مطلوبیت زیستگاه به‌وجود روابط قوی و قابل پیش‌بینی بین گونه و متغیرهای زیستگاهی بستگی دارد (Cardillo, 1999).

یکی از روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، استفاده از شبکه‌های باور بیزین^۱ (BBN) است، کاربرد این مدل زمانی که اطلاعات کافی از عوامل مؤثر بر مدل وجود ندارد، بیشتر است. این روش می‌تواند در مدیریت حیات‌وحش برای بررسی تأثیر متغیرهای زیستگاهی بر متغیرهای پاسخ‌دهنده بوم‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد (Marcot *et al.*, 2006). در این مدل علاوه بر لایه‌های محیطی، امکان استفاده از دانش کارشناسان به‌عنوان بخشی

از داده‌های موجود وجود دارد. شبکه‌های باور بیزین منجر به سهولت درک روابط علت و معلولی میان متغیرها شده و می‌توانند با سایر ابزارهای تحلیلی برای تصمیم‌های مدیریتی ترکیب شوند. علاوه بر این، شبکه‌های بیزین می‌توانند به‌عنوان ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرند (Goudarzi *et al.*, 2015). تهیه شبکه‌های باور بیزین نسبتاً آسان بوده و از همه مهمتر اینکه قابلیت درک آن‌ها توسط متخصصین به‌واسطه نمایش گرافیکی مدل بسیار بالا است. با اینکه تعریف جدول‌های احتمال شرطی و اختصاص دادن احتمالات به سناریوها کار دشوار و زمان‌بری است، اما این زبان احتمالاتی کارایی شبکه را به مقدار زیادی بالا می‌برد (Newton, 2009).

شبکه‌های باور بیزین به‌عنوان ابزاری مناسب جهت ارائه راهنمای مدیریتی به‌منظور مدیریت سرزمین و منابع در مقیاس‌های متفاوت از مقیاس محلی گرفته تا مقیاس سیمای سرزمین و مقیاس‌های کلان‌تر عمل می‌کند. این ابزار می‌تواند در تعیین مهمترین متغیرهای محیط‌زیستی، تعیین و کمی‌سازی روابط این متغیرها و پیش‌بینی نیازهای مدیریتی یک گونه به مدیران حیات‌وحش کمک کند. علی‌رغم اینکه این مدل شبکه بیزین بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در مورد مطلوبیت زیستگاه گربه شنی در شرق استان اصفهان ساخته شد، قابلیت استفاده در راستای مدیریت تطبیقی گونه در سایر زیستگاه‌های آن را دارد.

مطالعات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه برای طیف وسیعی از گربه‌سانان در سراسر جهان صورت گرفته که تعداد معدودی از آن‌ها به بررسی مطلوبیت زیستگاه گربه شنی پرداخته است (Torabian *et al.*, 2018; Hemami *et al.*, 2018; Khosravi *et al.*, 2018; Khosravi *et al.*, 2019). گربه شنی، گربه‌سان (Felidae) کوچکی است که در سه حوزه مجزا از جمله صحرای بزرگ آفریقا در کشور الجزایر، نیجریه و مراکش، سراسر شبه جزیره عربستان و بخش‌هایی از آسیای مرکزی از جمله ترکمنستان، ایران،

¹Bayesian Belief Network

می‌شود (DOE, 2020). این منطقه دارای ناهمواری‌های متعدد شامل نواحی مرتفع کوهستانی، کوهپایه‌ای، دشت‌های وسیع، تپه‌های شنی و پهنه وسیع کویری است. متوسط بارش سالانه ۱۱۰-۱۰۰ میلی‌متر است که عمدتاً در فصل زمستان صورت می‌گیرد و در نتیجه اقلیمی سرد، خشک و کویری را به وجود آورده است (IRIMO, 2020).

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه: مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گربه شنی طی چند مرحله انجام گرفت که در ادامه توضیح داده شده است (شکل ۲).

جمع‌آوری داده: در مرحله اول، جهت شناسایی عوامل محیطی موثر بر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی، به مطالعه ویژگی‌های رفتاری و عادات غذایی و تولید مثلی این گونه از طریق مرور منابع (Sunquist and Sunquist, 2017; Torabian et al., 2018; Hemami et al., 2018) پرداخته شد و مهمترین عوامل تهدیدکننده زیستگاه گربه شنی مورد بررسی قرار گرفت. سپس متغیرهای زیستگاهی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی موثر انتخاب شد.

تهیه مدل مفهومی (نمودار تأثیر): پیرو مطالعه Marcot و همکاران (۲۰۰۶) و Goudarzi و همکاران (۲۰۱۵) نمودار تأثیر با استفاده از مرور جامع منابع (Bunaian et al., 1998; Sunquist and Sunquist, 2017; Hemami et al., 2018; Torabian et al., 2018) و نظر کارشناسی تهیه گردید (شکل ۳). نمودار اثر، نشان‌دهنده ارتباط و اثر هر یک از متغیرها بر یکدیگر و تقدم و تأخر اولویت هر کدام بر مطلوبیت زیستگاه گونه هدف است؛ در این رابطه، لازم است مقیاس مکانی و زمانی متغیرها، در کل نمودار تأثیر هماهنگ باشد. در این مطالعه فقط متغیرهایی که نشان‌دهنده مفاهیم مکانی بودند در مقیاس شبکه‌های زیستگاهی در نظر گرفته شد و متغیرهایی که در بردارنده مفاهیم زمانی در بازه‌های کوتاه و میان مدت بود (مانند خشکسالی و فصل‌ها) در نمودار گنجانده نشد.

پاکستان و افغانستان (Cunningham, 2002) یافت می‌شود. این گونه از نظر حفاظتی در فهرست سرخ IUCN^۲ در طبقه "حداقل نگرانی"^۳ (Sliwa et al., 2016) و در ضمیمه II کنوانسیون بین‌المللی تجارت گونه‌های در خطر انقراض (CITES)^۴ قرار دارد (Mallon et al., 2011). تا کنون پژوهش‌های اندکی (Khosravi et al., 2018; Khosravi et al., 2019) در مورد نیازمندی‌های زیستگاهی این گونه به منظور حفاظت و مدیریت بهینه صورت گرفته است، اما با توجه به افزایش توسعه انسانی در زیستگاه‌های طبیعی، حفاظت از این گونه نیازمند پژوهش‌های گسترده‌تر و بنیادی‌تر است. از آن‌جا که جمع‌آوری اطلاعات کافی به‌عنوان زیربنای اقدامات حفاظتی زمان‌بر است، استفاده از مدل باورهای بیزین به منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه این گونه می‌تواند راهکار مؤثری برای شروع برنامه‌های حفاظتی باشد (Bunaian et al., 1998; CITES, 2014).

در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از دانش موجود و نظر کارشناسان، مدلی برای جمع‌بندی و نمایش اطلاعات در مورد زیستگاه گربه شنی تهیه و بر مبنای این مدل بهترین زیستگاه با بالاترین کیفیت شناسایی گردد. هدف از این مطالعه ایجاد یک مدل علت و معلولی با قابلیت پیش‌بینی میزان مطلوبیت زیستگاه گونه گربه شنی در شرق استان اصفهان و شناسایی مهمترین عوامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه این گونه است.

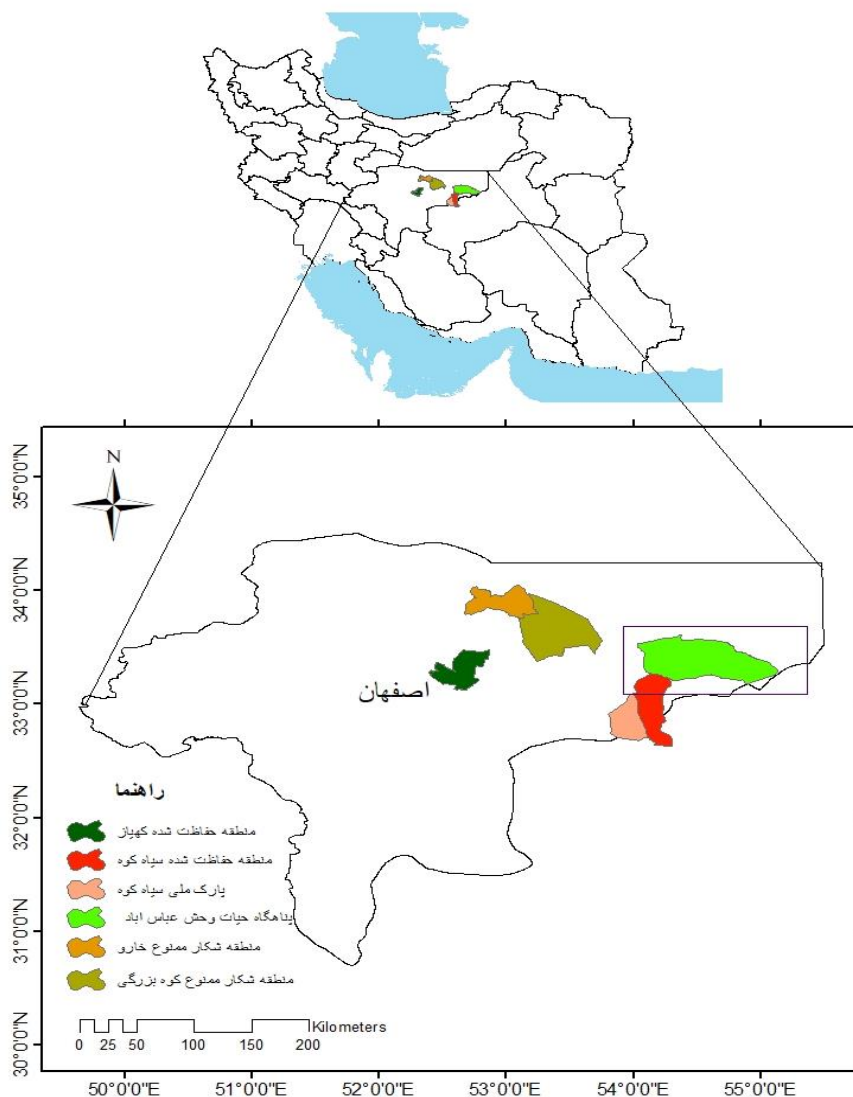
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه واقع در شرق استان اصفهان شامل پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد، پارک ملی سیاه‌کوه، منطقه شکار ممنوع انارک، منطقه شکار ممنوع کلاته و منطقه شکار ممنوع خارو است که از جمله زیستگاه‌های اصلی گربه شنی در استان اصفهان و ایران محسوب

^۳Convention on International Trade in Endangered Species

^۲International Union Conservation of Nature

^۳Least concern



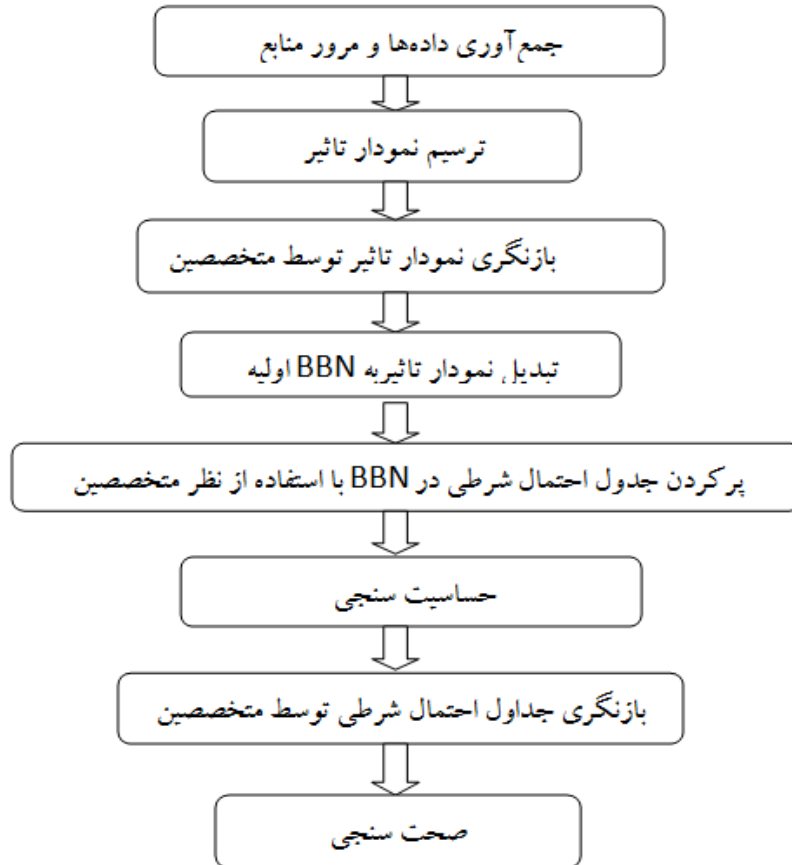
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شرق استان اصفهان.

تهیه مدل شبکه‌های باور بیزین: به منظور تبدیل نمودار اثر به یک مدل اولیه بیزین و تکمیل جداول احتمال شرطی تک تک متغیرها از نرم‌افزار Netica 3.12 استفاده شد (شکل ۴). این نرم‌افزار امکان مشخص کردن میزان اثر، تعیین حالات^۵ و احتمالات هر گره، و تغییر در خروجی‌ها با استفاده از تغییر در ورودی‌های مدل را فراهم می‌کند. در یک مدل شبکه بیزین با تغییر حالات در هر یک از گره‌های ورودی احتمالات سایر گره‌های متأثر از آن گره و در نهایت میزان مطلوبیت زیستگاه تغییر می‌کند.

ارزیابی مدل: ارزیابی و اعتبارسنجی شبکه باور بیزین بخش

برای تهیه نمودار تأثیر از همه متغیرهای شناخته شده استفاده نشد و متغیرهایی (اقلیم و سرعت باد) که موجب پیچیدگی بیش از حد شبکه یا همسویی متغیرها می‌شوند از فرایند مدل‌سازی خارج گردید. در نهایت پس از مطالعه منابع مختلف و بررسی‌های میدانی و نظر کارشناسان، از میان عوامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی، متغیرهای امکان لانه‌سازی، تراکم طعمه، امنیت زیستگاه، استحکام خاک، پناه گرمایی، تراکم طعمه‌خوار، فاصله از تاغزار، فاصله از ماسه‌زار، تراکم پوشش گیاهی، بافت خاک، پستی و بلندی و گریزگاه برای تهیه نمودار تأثیر انتخاب شدند (پیوست ۱).

⁵States



شکل ۲- مراحل مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گربه‌ شنی.

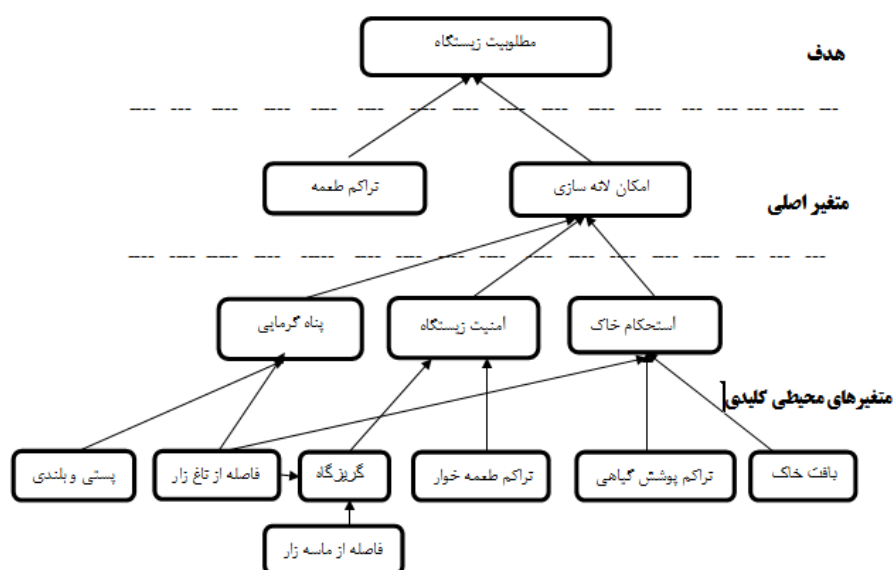
نرم‌افزار Netica، بر اساس درجه‌ کاهش بی‌نظمی محاسبه شد (Marcot et al., 2001).

ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های فرضی: در این مرحله به منظور آزمون احتمالات اختصاص داده شده به روابط کمی میان متغیرهای شبکه و تأثیر آن‌ها بر متغیر نهایی، از داده‌ها و شرایط فرضی استفاده شد. به عنوان مثال، شرایطی که متغیرهای ورودی شبکه در بهترین حالت (احتمال ۱۰۰٪ در بهترین وضعیت) از نظر مطلوبیت برای زیستگاه گربه‌ شنی قرار دارند و شرایطی که متغیرهای ورودی در بدترین حالت (احتمال ۱۰۰٪ در بدترین وضعیت) قرار دارند، بررسی شد. همچنین تأثیر هر یک از گره‌ها بر گری نهایی و اثرپذیری هر یک از گره‌ها از گره‌ والد خود به طور مجزا بررسی گردید. اثرگذاری هر یک از گره‌های ورودی در شرایطی که توزیع احتمالات میان حالت‌های تمامی متغیرها برابر با توزیع در بدترین و بهترین حالت توزیع احتمالات

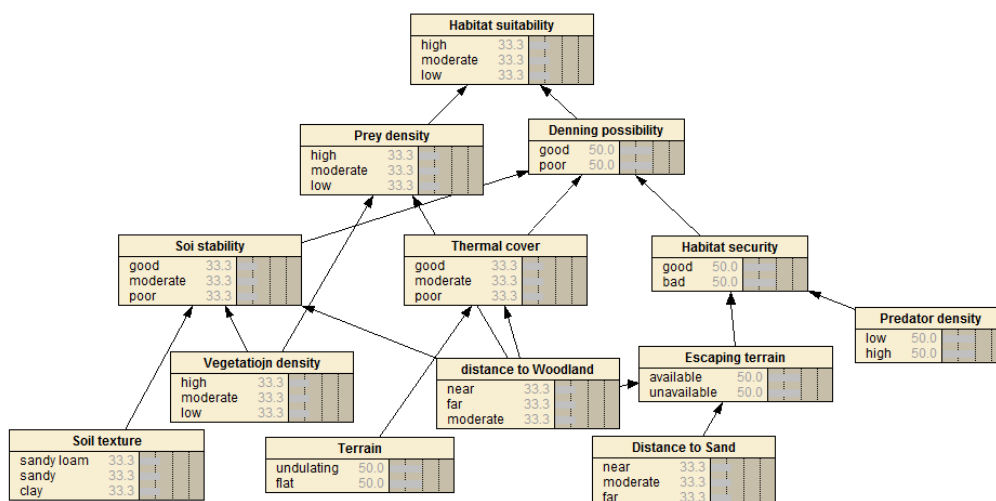
مهمی از آزمون توانایی این مدل‌ها جهت پیش‌بینی گره‌ هدف (در اینجا مطلوبیت زیستگاه بالقوه گربه‌ شنی) است. در این مطالعه از سه روش بازبینی مجدد مدل، تجزیه و تحلیل حساسیت، اعتباریابی مدل با کمک داده‌های فرضی و به روزرسانی مدل با استفاده از داده‌های واقعی برای ارزیابی مدل استفاده شد.

بازبینی مجدد مدل: پس از تکمیل جداول احتمالات شرطی، جهت بررسی کلی میان متغیرها و روابط کمی شده آن‌ها تمامی احتمالات اختصاص داده شده به سناریوها مورد بررسی مجدد قرار گرفت و اصلاحات لازم انجام شد.

حساسیت‌سنجی: حساسیت‌سنجی نشان می‌دهد که گره‌ خروجی به چه میزان از گره‌های ورودی تأثیر می‌پذیرد و بالعکس. بر این اساس می‌توان نشان داد که به چه میزان عدم قطعیت مدل ناشی از عدم قطعیت گره‌های ورودی است. حساسیت‌سنجی برای هر یک از گره‌ها (متغیرها) در



شکل ۳- نمودار اثر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی.



شکل ۴- مدل شبکه باور بیزین تهیه شده برای مطلوبیت زیستگاه گربه شنی.

پیش‌بینی به‌عنوان میزان اثر متغیر مورد مطالعه بر گره هدف محاسبه گردید.

جمع‌آوری داده به‌منظور اعتبارسنجی: به‌منظور اعتبارسنجی مدل از ۶۰ نقطه حضور و ۶۰ نقطه عدم حضور گربه شنی در منطقه شرق استان اصفهان استفاده شد. نقاط حضور از طریق اداره حفاظت از محیط زیست استان اصفهان و مطالعه Hemami و همکاران (۲۰۱۸) تهیه گردید، داده‌های عدم حضور با استفاده از نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه گربه شنی به روش مکسنت حاصل از مطالعه Hemami و همکاران (۲۰۱۸) به‌صورت تصادفی تهیه شد.

است، مقایسه شد و بازنگری‌های لازم برای اصلاح مدل و تغییر احتمالی متغیرها و احتمالات صورت پذیرفت. میزان پیش‌بینی مدل زمانی که احتمال وقوع سه حالت مطلوبیت زیاد، متوسط و کم زیستگاه برای تمامی متغیرهای ورودی شبکه یکسان در نظر گرفته شده است (شرایط الف)، با شرایطی که احتمال وقوع سه حالت مطلوبیت زیاد، متوسط و کم زیستگاه برای تمامی متغیرهای ورودی شبکه به‌جز متغیر مورد مطالعه (که با در نظر گرفتن احتمال ۱۰۰٪ در بهترین وضعیت خود قرار دارد) یکسان در نظر گرفته شده است (شرایط ب)، بررسی گردید و اختلاف این میزان

جدول ۱- حالات متغیرهای محیطی کلیدی بکار رفته در مدل شبکه بیزین مطلوبیت زیستگاه گربه‌ شنی.

طبقات	لایه های زیستگاهی
<ul style="list-style-type: none"> • فاصله نزدیک: ۰ تا ۵۰۰ متر • فاصله متوسط: ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر • فاصله دور: بیشتر از ۱۵۰۰ متر 	فاصله از تاغزار
<ul style="list-style-type: none"> • فاصله نزدیک: ۰ - ۵ و ۱۰ - ۵ کیلومتر • فاصله متوسط: ۱۲/۵ - ۱۰ و ۱۵ - ۱۲/۵ و ۲۰ - ۱۵ کیلومتر • فاصله دور : بیشتر از ۲۰ کیلومتر 	فاصله از ماسه‌زار
<ul style="list-style-type: none"> • دشتی: شیب‌های کمتر از ۵ درصد • موج‌دار: شیب‌های بالاتر از ۵ درصد تا حداکثر ۴۰ درصد 	شیب
<ul style="list-style-type: none"> • پوشش گیاهی زیاد: ۲۷ - ۲۳ درصد • پوشش گیاهی متوسط: ۲۳ - ۱۷ و ۱۷ - ۱۳ درصد • پوشش گیاهی کم: ۱۳ - ۷ و ۷ - ۳ و ۳ - ۰ 	تراکم پوشش گیاهی
<ul style="list-style-type: none"> • لومی - شنی • شنی • رسی 	بافت خاک
<ul style="list-style-type: none"> • روی هم‌گذاری نقشه حضور گربه شنی و شغال بعنوان مهمترین طعمه خوار گربه شنی • کم • متوسط • زیاد 	تراکم طعمه‌خوار

نشان نمی‌داد، احتمالات حالت‌های این متغیر مساوی در نظر گرفته شد.

نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی، تاغ‌زار و ماسه‌زار از نقشه تیپ پوشش گیاهی حاصل از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان استخراج شد. با استفاده از نقشهٔ رقمی ارتفاع^۶ تهیه شده از پایگاه USGS، نقشهٔ شیب منطقه تهیه شد. بر اساس مرور منابع و با توجه به نقشهٔ شیب منطقه، گرهٔ پستی و بلندی در دو طبقهٔ دشتی و موج‌دار تعریف شد. اطلاعات مربوط به بافت خاک با استفاده از نقشهٔ بافت خاک به‌دست آمد. برای تمامی نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS فاصله نقاط حضور گونه تا هر یک از متغیرها، محاسبه شد. اعداد وارد نرم‌افزار اکسل شد و با استفاده از ۷۵٪ داده‌ها نمودار بافت‌نگاشت (هیستوگرام) آن‌ها رسم شد. هدف از تهیهٔ این نمودارها دست یافتن به مقادیر بهینه هر متغیر از نظر استفاده گربه‌ شنی از آن متغیرها بود. در نهایت با استفاده از اطلاعات حاصل به تعریف کمی حالات متغیرهای محیطی کلیدی پرداخته شد

صحت‌سنجی مدل با داده‌های واقعی از بخش‌های اصلی ارزیابی مدل است. بدین منظور از نقشه‌های تولید شده شامل نقشهٔ فاصله از تاغ‌زار، فاصله از ماسه‌زار، تراکم پوشش گیاهی و شیب استفاده شد. عامل دیگری که بر مطلوبیت زیستگاه گربه‌ شنی مؤثر است، تراکم طعمه می‌باشد. این گونه از انواع طعمه مانند انواع جوندگان، خزندگان، پرندگان، و بندپایان تغذیه می‌کند. اما طعمه‌های اصلی گربه‌ شنی جوندگان مناطق بیابانی‌اند که هرچه تراکم آن‌ها بیشتر باشد، مطلوبیت زیستگاه برای این گونه نیز بیشتر می‌شود، این لایه با استفاده از نقاط حضور و فراوانی طعمه تهیه گردید. نقشهٔ تراکم طعمه‌خوار با استفاده از نقاط حضور و فراوانی شغال (به‌عنوان مهمترین طعمه‌خوار گربه‌ شنی در منطقه مورد مطالعه) (Cole et al., 2015) در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و در ارتباط با بافت خاک از نقشهٔ بافت خاک سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شد. البته به‌دلیل اینکه بر اساس این نقشه (در حال حاضر تنها نقشه موجود از بافت خاک منطقه است) بافت خاک در کل منطقه تغییر محسوسی را

^۶Digital Elevation Map

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت‌سنجی متغیر هدف مطلوبیت زیستگاه گربه شنی.

متغیر	کاهش بی‌نظمی	واریانس باورها
امکان لانه‌سازی	۰/۱۱۳۲	۰/۰۱۸۷۱۲۱
تراکم طعمه	۰/۰۵۳۷۴	۰/۰۱۸۴۲۲۸
فاصله از تاغ‌زار	۰/۰۲۷۴۵	۰/۰۰۶۹۸۸۱
استحکام خاک	۰/۰۲۵۶	۰/۰۰۶۹۴۰۰
پناه گرمایی	۰/۰۱۳۶۴	۰/۰۰۴۱۴۶۱
امنیت زیستگاه	۰/۰۱۲۸۲	۰/۰۰۴۰۹۵۹
گریزگاه	۰/۰۱۱۹۳	۰/۰۰۳۵۷۶۴
تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۰۱۷۲۵	۰/۰۰۰۷۹۶۴
تراکم طعمه‌خوار	۰/۰۰۰۸۱۶۸	۰/۰۰۰۳۰۳۵
فاصله از ماسه‌زار	۰/۰۰۰۱۶۹۲	۰/۰۰۰۰۶۴۶
بافت خاک	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۰۰۰۰۵۴۵
پستی و بلندی	۰/۰۰۰۱۰۴۲	۰/۰۰۰۰۴۰۸

(جدول ۱). به‌منظور تکمیل جدول‌های احتمال شرطی همزمان با در نظر گرفتن توزیع نظری احتمالات میان متغیرها، از محاسبه‌گر جدول‌های احتمال شرطی^۷ استفاده شد. استفاده از این محاسبه‌گر از وارد شدن خطای انسانی هنگام اختصاص دادن احتمالات به حالات مختلف متغیرها، پیشگیری می‌کند.

نتایج

ارزیابی مدل: تحلیل حساسیت: با توجه به نتایج تحلیل حساسیت بر گره هدف شبکه یعنی مطلوبیت زیستگاه گربه شنی امکان لانه‌سازی، تراکم طعمه و فاصله از تاغ‌زار به‌ترتیب از مهمترین متغیرهای زیستگاهی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی هستند (جدول ۲).

ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های فرضی: با توجه به نتایج حاصل، اثر متغیرهای ورودی بر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی به‌ترتیب (۱) فاصله از تاغ‌زار (۲) تراکم پوشش گیاهی (۳) تراکم طعمه‌خوار (۴) فاصله از ماسه‌زار (۵) بافت خاک و (۶) پستی و بلندی است (جدول ۳). این روش بزرگی اثر هر متغیر بر گره مطلوبیت زیستگاه را نیز بر اساس میزان تغییرات مطلوبیت زیستگاه ارزیابی می‌کند. (پیوست ۲). میزان پیش‌بینی مدل زمانی که احتمال وقوع سه حالت زیاد،

متوسط و کم مطلوبیت زیستگاه برای تمامی متغیرهای ورودی شبکه، یکسان در نظر گرفته شده است (شرایط الف)، با شرایطی که احتمال وقوع سه حالت زیاد، متوسط و کم مطلوبیت زیستگاه برای تمامی متغیرهای ورودی شبکه به‌جز متغیر مورد مطالعه که با احتمال ۱۰۰٪ بهترین وضعیت خود را نشان می‌دهد، یکسان در نظر گرفته شده است (شرایط ب)، بررسی گردید و اختلاف این میزان پیش‌بینی به‌عنوان میزان اثر متغیر مورد مطالعه بر گره هدف محاسبه گردید. به‌عنوان مثال میزان اثر فاصله از تاغ‌زار به‌صورت زیر محاسبه شد.

میزان اثر متغیر = میزان تغییر احتمالات مطلوبیت بالا + میزان تغییر احتمال مطلوبیت متوسط + میزان تغییر احتمال مطلوبیت کم

داده‌های جمع‌آوری شده به‌منظور اعتبارسنجی مدل: در ارتباط با داده‌های مربوط به فاصله از تاغ‌زار، از مجموع ۴۶ داده حضور گربه شنی ۴۲ نقطه در فاصله کم، ۱ نقطه در فاصله متوسط و ۳ نقطه در فاصله زیاد قرار داشتند. این یافته نشان می‌دهد که گربه‌های شنی بیشتر نزدیک جنگل‌های تاغ لانه می‌سازند و با فاصله از تاغ‌زار تراکم جمعیت این گونه کاهش می‌یابد. همان‌طور که تحلیل مدل نشان داد بیشتر وزن و اثر را متغیر

⁷Conditional probability table (CPT) calculator

جدول ۳- تغییرات میزان مطلوبیت زیستگاه بر اساس تغییرات متغیرها (در این جدول هر چه عدد نهایی بزرگتر باشد میزان اثر متغیر بر گره نهایی بیشتر است. در جدول موثرترین ورودی‌ها از بالا به پایین مرتب شده‌اند).

تغییر مورد مطالعه	شرایط پیش‌بینی مدل	پیش‌بینی مدل از میزان مطلوبیت زیستگاه		
		کم	متوسط	بالا
فاصله از تاغزار	الف	۱۹/۴	۱۹/۴	۶۱/۲
	ب	۵/۷	۱۲/۴	۸۱/۹
تراکم پوشش گیاهی	الف	۱۹/۴	۱۹/۴	۶۱/۲
	ب	۱۴/۴	۱۸	۶۷/۶
تراکم طعمه‌خوار	الف	۱۹/۴	۱۹/۴	۶۱/۲
	ب	۱۷/۲	۱۸/۹	۶۳/۹
فاصله از ماسه‌زار	الف	۱۹/۴	۱۹/۴	۶۱/۲
	ب	۱۸/۳	۱۹/۲	۶۲/۵
بافت خاک	الف	۱۹/۴	۱۹/۴	۶۱/۲
	ب	۱۸/۴	۱۹/۴	۶۲/۲
پستی و بلندی	الف	۱۹/۴	۱۹/۴	۶۱/۲
	ب	۱۸/۹	۱۹/۳	۶۱/۸

بزرگترین مشکلات پیش‌روی مدیریت زیستگاه گربه شنی و حفاظت از این گونه است. با این حال مطالعاتی در خصوص بررسی نیازهای زیستگاهی این گونه و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه صورت گرفته است (Hemami et al., 2018; Khosravi et al., 2018; Torabian et al., 2018; Khosravi et al., 2019). یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت زیستگاه گربه شنی امکان لانه‌سازی این گونه است. این پارامتر تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله امنیت زیستگاه، استحکام خاک و پناه گرمایی است. امنیت زیستگاه میزان حمایت زیستگاه از گونه در مقابل خطرات را نشان می‌دهد که وابسته به تراکم طعمه‌خوار و گریزگاه می‌باشد. هر چه تراکم طعمه‌خوار بیشتر باشد امنیت زیستگاه برای گربه شنی کمتر می‌شود. گریزگاه، شرایطی محیطی است که به گونه امکان فرار از چنگ طعمه‌خواران را می‌دهد که در این مطالعه با توجه به دو عامل فاصله از ماسه‌زار و فاصله از تاغزار تعیین شده است. تاغزار برای گربه شنی پناه گرمایی، طعمه و گریزگاه را فراهم می‌کند. حضور انسان و مناطق مسکونی

فاصله از تاغزار به خود اختصاص داده است. همچنین برای فاصله از ماسه‌زار، از ۴۶ نقطه حضور گربه شنی که برای رسم نمودار استفاده شد، ۳۳ نقطه در فاصله نزدیک، ۱۱ نقطه در فاصله متوسط و ۲ نقطه در فاصله دور قرار گرفت، بدین معنی که با فاصله گرفتن از ماسه‌زار نیز احتمال حضور گربه شنی کاهش می‌یابد.

ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های واقعی: مدل تهیه شده در ۹۳/۳٪ موارد پیش‌بینی درستی (مطلوبیت بالا) از نقاط حضور گربه شنی داشت. نتایج پیش‌بینی مدل از ویژگی‌های نقاط عدم حضور گونه نشان داد که مطلوبیت زیستگاه در همه این نقاط پایین است (صحت ۱۰۰٪ مدل برای نقاط عدم حضور). بر این اساس مدل پیش‌بینی مناسبی از زیستگاه‌های مطلوب (نقاط حضور گربه شنی) و زیستگاه نامطلوب (نقاط عدم حضور گونه) داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

کمبود داده و اطلاعات بوم‌شناختی در مورد گربه شنی از

محافظت نماید. به دلیل نقشی که گیاهان و درختان در تعدیل آب و هوای منطقه همجوار خود دارند از جمله عملکرد آنها به عنوان بادشکن، می‌توانند گونه را در برابر ناملایمات آب و هوایی مصون دارد. بنابراین، هرچه فاصله تا جنگل (تاغ‌زار) کمتر باشد، مطلوبیت زیستگاه بیشتر است. گربه شنی دشت-های مسطح یا تپه‌های شنی موج‌دار با پوشش گیاهی پراکنده را ترجیح می‌دهد و از تپه‌های شنی که مواد غذایی یا پوشش گیاهی به نسبت کمتری دارند اجتناب می‌کند (Sunquist and Sunquist, 2017).

اعتبارسنجی مدل با در نظر گرفتن شرایط فرضی، مثلاً زمانی که تمامی متغیرها با احتمال ۱۰۰٪ در بهترین وضعیت هستند اجرا شد (شکل الف پیوست ۲) و احتمال پیش‌بینی شده توسط مدل بررسی و ثبت گردید. در این شرایط پیش‌بینی مدل برای مطلوبیت بالای زیستگاه ۹۳/۳٪ و برای مطلوبیت متوسط زیستگاه ۵/۵۸٪ بود، یعنی در مجموع مدل پیش‌بینی می‌کند در شرایط ایده‌آل مفروض، ۹۸/۸۹٪ مطلوبیت زیستگاه متوسط تا بسیار عالی می‌باشد. احتمال نزدیک به ۹۹٪ برای این شرایط، پیش‌بینی بسیار خوبی است. در واقع احتیاطی که در اختصاص دادن احتمالات در نظر گرفته شده است، باعث می‌شود این مقدار به ۱۰۰٪ نرسد، زیرا همه متغیرهای تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه گونه و همه روابط میان متغیرها در مدل لحاظ نشده‌اند. برای اعتبارسنجی، شرایطی که متغیرها به صورت تک به تک در بهترین و بدترین شرایط ممکن هستند، نیز در نظر گرفته شد. به عنوان مثال احتمالات پیش‌بینی شده توسط مدل زمانی که احتمالات مربوط به حالات همه متغیرها مساوی است و فقط یک متغیر ورودی با احتمال ۱۰۰٪ در بهترین حالت خود قرار دارد، ثبت شد. سپس شرایطی که توزیع احتمالات میان حالات این متغیر برابر است نیز بررسی و احتمالات پیش‌بینی شده توسط مدل برای میزان مطلوبیت زیستگاه ثبت گردید. مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل در این دو وضعیت در واقع میزان تأثیر گره بر مطلوبیت زیستگاه نهایی را تعیین می‌کند که در صورت وجود اریبی، امکان اصلاح آن

نیز بر امنیت زیستگاه تأثیرگذار هستند. با این حال با توجه به منطقه مورد مطالعه و عدم حضور دخالت‌های انسانی در داخل پناهگاه، متغیر انسانی در مدل گنجانده نشد. از طرفی تاغ‌زار با مستحکم کردن بافت خاک سبب می‌شود که این گونه با سهولت بهتری لانه را در خاک‌های شنی حفر کند. نتایج این مطالعه هم‌راستا با مطالعه Hemami و همکاران (۲۰۱۸) بود که نتایج آنها نشان داد که با فاصله گرفتن از تاغ‌زار و ماسه‌زار مطلوبیت زیستگاه گربه شنی کاهش می‌یابد. برخوردار بودن وزن کم این متغیر در مدل به معنی بی‌تأثیر بودن این گره بر گره هدف نیست، بلکه به دلیل این است که گره فاصله از ماسه‌زار با سطح چهارم ارتباط با گره هدف، دورترین فاصله را نسبت به گره مطلوبیت زیستگاه دارا می‌باشد. همچنین در مناطق نزدیک به ماسه‌زار خاک نسبتاً نرم اما مستحکم است و در فواصل دور از ماسه‌زار حفر لانه به دلیل سفتی خاک دشوار می‌گردد. استحکام خاک خود تحت تأثیر بافت خاک و تراکم پوشش گیاهی است. هر چه درصد شن و ماسه خاک بیشتر باشد، خاک استحکام کمتری دارد به همین دلیل برای لانه‌سازی مناسب نیست. برای متغیر بافت خاک سه سناریوی لومی-شنی، شنی و رسی تعریف شد اما به دلیل اینکه اطلاعات ما در زمینه بافت خاک منطقه کامل نبود و دقت نقشه بافت خاک موجود به اندازه کافی نبود، در مدل تهیه شده احتمال وجود هر یک از این سه نوع خاک ۳۳/۳۳٪ در نظر گرفته شد. در صورتی که در آینده نقشه دقیق‌تری از بافت خاک منطقه تهیه شود، امکان به‌روزرسانی مدل وجود خواهد داشت. تراکم پوشش گیاهی علاوه بر اینکه بر تراکم طعمه به‌طور غیر مستقیم مؤثر است، با ریشه دوانی در اعماق خاک باعث استحکام خاک شده و امکان لانه‌سازی را آسان‌تر می‌کند.

پناه گرمایی متغیر اثرگذار دیگر بر مطلوبیت زیستگاه گربه شنی است. پستی و بلندی بر خرد اقلیم محل تأثیر به‌سزایی دارد. با توجه به تأثیری که پستی و بلندی در ایجاد سایه و کاهش شدت وزش باد دارد، می‌تواند از گونه در برابر گرمای طاقت فرسای روز در تابستان و سرمای زمستان

متخصصین کارایی بالایی را نشان می‌دهد. مدل شبکه باور بیزین همچنین ابزار بسیار مهمی جهت درک رابطه گونه‌زیستگاه و پی بردن به شکاف‌های دانش برای مدیریت گونه است. به‌عنوان مثال در این مطالعه با وجود اینکه بافت خاک، متغیر مهم و مؤثری برای لانه‌سازی گربه شنی تشخیص داده شد، اما به‌دلیل ناکافی بودن اطلاعات از بافت خاک منطقه و محدودیت نقشه‌های تهیه شده، احتمالات حالت‌های گره بافت خاک برابر در نظر گرفته شد. بنابراین، تهیه یک نقشه با دقت مکانی مناسب از بافت خاک منطقه یک اولویت تحقیقاتی برای این گونه محسوب می‌شود تا بتوان مدل تهیه شده را به‌روز کرد.

شبکه‌های باور بیزین به‌عنوان ابزاری مناسب جهت ارائه راهنمای مدیریتی به‌منظور مدیریت سرزمین و منابع در مقیاس‌های متفاوت از مقیاس محلی گرفته تا مقیاس سیمای سرزمین و مقیاس‌های کلان‌تر عمل می‌کند. این ابزار می‌تواند در تعیین مهمترین متغیرهای محیط‌زیستی، تعیین و کمی‌سازی روابط این متغیرها و پیش‌بینی نیازهای مدیریتی یک گونه به مدیران حیات‌وحش کمک کند. علی‌رغم اینکه مدل شبکه بیزین براساس داده‌های جمع‌آوری شده در مورد مطلوبیت زیستگاه گربه شنی در شرق استان اصفهان ساخته شد، قابلیت استفاده در راستای مدیریت تطبیقی گونه در سایر زیستگاه‌های آن را دارد.

از طریق بازبینی مجدد توزیع احتمالات جدول‌های احتمال شرطی وجود خواهد داشت. همچنین شرایطی که مطلوبیت زیستگاه به احتمال ۱۰۰٪ زیاد است در نظر گرفته شد (شکل ج پیوست).

به‌طور کلی نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل شبکه بیزین تهیه شده نشان داد که این مدل مطلوبیت زیستگاه گربه شنی را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند. در مقایسه با مدل تهیه شده به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پستاندار زمینی (*Sminthopsis fuliginosus*) در شمال غرب کوئینزلند استرالیا، این مدل صحت بالاتری را نشان داد (Smith et al., 2007). با این وجود، ممکن است برخی از متغیرهای مهم و یا روابط میان متغیرها به‌دلیل کمبود دانش ما در رابطه با گونه یا زیستگاه برای ساخت مدل حاضر در نظر گرفته نشده باشد. در این صورت چنانچه مطالعات آینده منجر به یافته‌های جدیدی در مورد گربه شنی شوند، این مدل قابلیت به‌روزرسانی بر اساس آن یافته‌ها را خواهد داشت.

این پژوهش نشان داد که مدل‌سازی به روش شبکه‌های باور بیزین، رویکردی مناسب جهت مطالعه مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات‌وحش است. مطالعات مشابه نیز به همین نتیجه دست یافته بودند (Uusitalo et al., 2005; McNay et al., 2006; Smith et al., 2007) این رویکرد خصوصاً در زمینه به کار بردن دانش

References

- Andersen, M.C., Watts, J.M., Freilich, J.E., Yool, S.R., Wakefield, G.I., McCauley, J.F., Fahnestock, P.B., 2000. Regression-tree modeling of desert tortoise habitat in the central Mojave Desert. *Ecological Applications* 10(3), 890-900.
- Bunaian, F., Mashaqbeh, S., Yousef, M., Buduri, A., Amr, Z.S., 1998. A new record of the sand cat, *Felis margarita*, from Jordan. *Zoology in the Middle East* 16(1), 5-7.
- Cardillo, M., Macdonald, D.W., Rushton, S.P., 1999. Predicting mammal species richness and distributions: testing the effectiveness

- of satellite-derived land cover data. *Landscape Ecology* 14(5), 423-435.
- CITES Appendices" (On-line). CITES. Accessed February 02, 2014 at <http://www.cites.org/eng/append/index.shtml>.
- Cole, F.R., Wilson, D.E., 2015. *Felis margarita* (Carnivora: Felidae). *Mammalian Species*. 47(924), 63-77
- Cunningham, P., 2002. Status of the Sand Cat, *Felis margarita*, in the United Arab Emirates. *Zoology in the Middle East* 25(1), 9-14.
- Department of Environment, Iran. 2020, <https://www.doe.ir>.
- Ghadirian, O., Hemami, M.R., Soffianian, A.,

- Malekian, M., Pourmanafi, S., Amiri, M., 2019. The prediction of Persian Squirrel Distribution Using a Combined Modeling Approach in the Forest Landscapes of Luristan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8(1), 47-58. (In Persian)
- Goudarzi, F., Hemami, M.R., Bashari, H., Johnson, S., 2015. Assessing translocation success of the endangered Persian fallow deer using a Bayesian Belief Network. *Ecosphere* 6(10), 1-14.
- Hemami, M.R., Esmaeili, S., Brito, J.C., Ahmadi, M., Omidi, M., Martínez-Freiría, F., 2018. Using ecological models to explore niche partitioning within a guild of desert felids. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 29(2), 216-222.
- INCN World Conservation Union. 1960. Sand Cat *Felis margarita* Locke 1858.
- IUCN Red list. August 2009. <http://www.iucnredlist.org/Iran>
- Meteorological Organization. 2020, <https://www.irimo.ir>
- Khosravi, R., Hemami, M.R., Cushman, S.A., 2018. Multispecies assessment of core areas and connectivity of desert carnivores in central Iran. *Diversity and Distributions* 24(2), 193-207.
- Khosravi, R., Hemami, M.R., Cushman, S.A., 2019. Multi-scale niche modeling of three sympatric felids of conservation importance in central Iran. *Landscape Ecology* 34(10), 2451-2467.
- Mallon, D.P., Sliwa, A., Strauss, M., 2011. *Felis margarita*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e. T8541A12917127.
- 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. *Journal of Forest ecology and management* 153(1), 29-42.
- Marcot, B.G., Steventon, J.D., Sutherland, G.D., McCann, R.K., 2006. Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. *Canadian Journal of Forest Research* 36(12), 3063-3074.
- McNay, R.S., Marcot, B.G., Brumovsky, V., Ellis, R., 2006. A Bayesian approach to evaluating habitat for woodland caribou in north-central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 36(12), 3117-3133.
- Newton, A.C., 2009. Bayesian Belief Networks in environmental modelling: a review of recent progress. *Environmental modelling research*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, USA 13-50.
- Owen-Smith, N., 2007. Introduction to Modeling in Wildlife and Resource Conservation. Wiley Blackwell 336
- Paquet, P.C., Darimont, C.T., 2010. Wildlife conservation and animal welfare: two sides of the same coin. *Animal Welfare* 19(2), 177-190.
- Red List of Threatened Species 2016: e.T8541A50651884. Downloaded on 06 October 2016.
- Rushton, S.P., Ormerod, S.J., Kerby, G., 2004. New paradigms for modelling species distributions?. *Journal of applied ecology* 41(2), 193-200.
- Sliwa, A., Ghadirian, T., Appel, A., Banfield, L., Sher Shah, M. Wachter, T., 2016. *Felis margarita*. The IUCN
- 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.
- Sunquist, M., Sunquist, F., 2017. Wild cats of the world. University of Chicago press. 462 p.
- Torabian, S., Soffianian, A., Fakheran, S., Asgarian, A., Feizabadi, H.A., Senn, J., 2018. Habitat suitability mapping for sand cat (*Felis margarita*) in Central Iran using remote sensing techniques. *Spatial Information Research* 26(1), 11-20.
- Uusitalo, L., Kuikka, S., Romakkaniemi, A., 2005. Estimation of Atlantic salmon smolt carrying capacity of rivers using expert knowledge. *ICES Journal of Marine Science* 62(4), 708-722.

پیوست ها:

پیوست ۱- تعریف متغیرها و طبقات (حالات) آن‌ها برای مطلوبیت زیستگاه گربه شنی.

شماره	گره	تعریف و حالت‌های متغیرها
۱	مطلوبیت زیستگاه	توانایی زیستگاه در فراهم نمودن احتیاجات گونه برای بقا، تولید مثل و تغذیه. زیاد: زیستگاه شرایط خوبی برای تأمین نیازهای گونه دارد. متوسط: زیستگاه شرایط متوسطی برای تأمین نیازهای گونه دارد. کم: زیستگاه شرایط نامطلوبی برای تأمین نیازهای گونه دارد.
۲	امکان لانه‌سازی	توانایی زیستگاه در فراهم کردن امکانات و امنیت لازم برای لانه‌سازی گونه. خوب: زیستگاه توانایی بالایی جهت لانه‌سازی گونه دارد. ضعیف: زیستگاه توانایی ضعیفی جهت لانه‌سازی گونه دارد.
۳	تراکم طعمه	تعداد افراد طعمه در دسترس برای گونه در یک زمان و یک واحد سطح مشخص. زیاد: زیستگاه تراکم و تنوع مناسبی از طعمه‌های گربه شنی دارد. متوسط: زیستگاه تراکم و تنوع متوسطی از طعمه‌های گربه شنی دارد. کم: زیستگاه تراکم و تنوع کمی از طعمه‌های گربه شنی دارد.
۴	امنیت زیستگاه	میزان حمایت زیستگاه از گونه در مقابل خطرات با توجه به تراکم طعمه‌خوار، فاصله از جنگل، فاصله از ماسه‌زار و گریزگاه. خوب: زیستگاه امنیت بالایی برای گربه شنی و طعمه‌های آن دارد. بد: زیستگاه امنیت پایینی برای گربه شنی و طعمه‌های آن دارد.
۵	استحکام خاک	شرایط خاک از لحاظ فیزیکی و مکانیکی که امکان لانه‌سازی برای گونه را فراهم می‌کند. خوب: خاک شرایط مناسبی برای لانه‌سازی گونه فراهم می‌کند. متوسط: خاک شرایط متوسطی را برای لانه‌سازی گونه فراهم میکند. ضعیف: خاک شرایط ضعیفی را برای لانه‌سازی گونه فراهم می‌کند.
۶	پناه گرمایی	توانایی پناه در حفظ دمای بدن در مقابل سرما و باد با توجه به شرایط پستی و بلندی و فاصله از جنگل می‌باشد. خوب: زیستگاه توانایی مناسبی در حفظ دمای بدن گونه در برابر سرما و باد دارد. متوسط: زیستگاه توانایی متوسطی در حفظ دمای بدن گونه در برابر سرما و باد دارد. ضعیف: زیستگاه توانایی ضعیفی در حفظ دمای بدن گونه در برابر سرما و باد دارد.
۷	تراکم طعمه خوار	تعداد افراد طعمه‌خواری که در یک زمان و یک واحد سطح مشخص وجود دارد. کم: در زیستگاه تعداد افراد طعمه‌خوار کم است. متوسط: در زیستگاه تعداد افراد طعمه‌خوار متوسط است. زیاد: در زیستگاه تعداد افراد طعمه‌خوار زیاد است.
۸	گریزگاه	شرایطی که گونه بتواند خود را در برابر شکارچی و طعمه‌خوار پنهان کند. گریزگاه با توجه به فاصله از ماسه‌زار و فاصله از جنگل تعیین می‌گردد. در دسترس: زیستگاه امکانات لازم برای استتار یا فرار گونه را دارد. دور از دسترس: زیستگاه امکانات لازم برای استتار یا فرار گونه را ندارد.
۹	تراکم پوشش گیاهی	متوسط تراکم جوامع گیاهی موجود در زیستگاه گونه. زیاد: تراکم جوامع گیاهی موجود در زیستگاه گونه بالاست. متوسط: تراکم پوشش گیاهی موجود در زیستگاه گونه متوسط است. کم: تراکم پوشش گیاهی موجود در زیستگاه گونه کم است.
۱۰	فاصله از جنگل	فاصله تا نزدیک‌ترین تاغ‌زار. نزدیک: فاصله گونه تا تاغ‌زار نزدیک است. متوسط: گونه فاصله نسبتاً مناسبی تا تاغ‌زار دارد. دور: فاصله گونه تا تاغ‌زار دور است.
۱۱	فاصله از ماسه‌زار	نزدیک: فاصله گونه تا ماسه‌زار نزدیک است. متوسط: گونه فاصله نسبتاً مناسبی تا ماسه‌زار دارد. دور: فاصله گونه تا ماسه‌زار دور است.

تپہ‌های ماسه‌ای تثبیت شده وجود تپه‌های ماسه‌ای منفرد تثبیت شده به صورت لکه‌ای.
 موج دار: درزیستگاه ناهمواری‌ها به صورت موج دار تپه‌ای است.
 دشتی: زیستگاه فاقد ناهمواری است.

پستی و بلندی

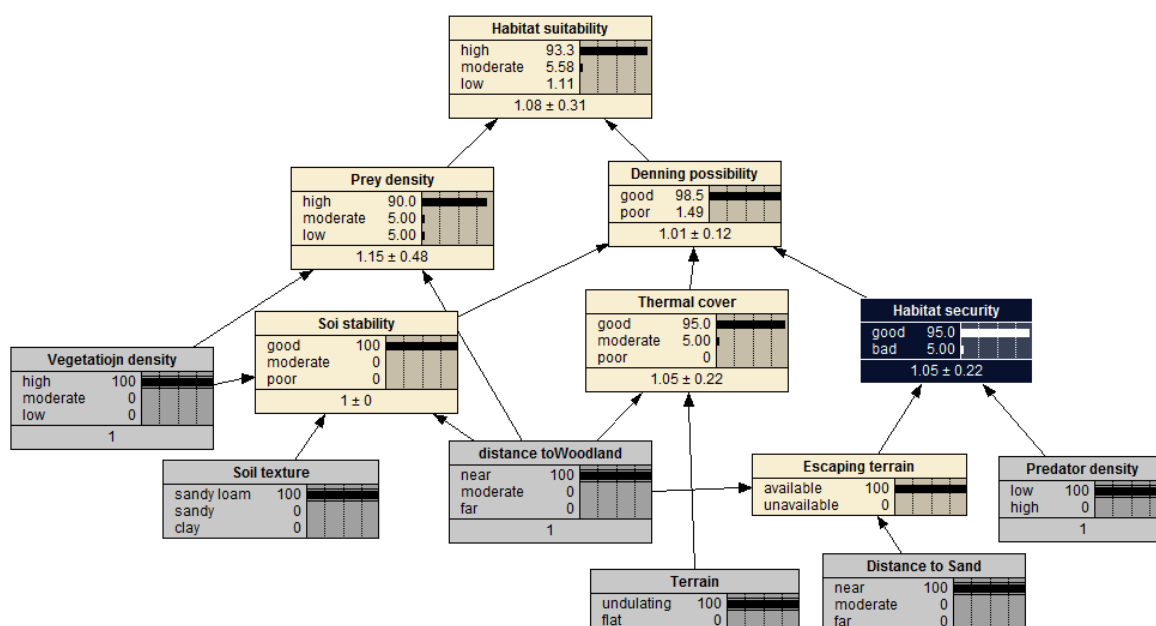
۱۲

لومی-شنی: میزان رس کمتر از ۲۰ درصد و مقدار شن خاک بین ۲۴ تا ۵۲ درصد است.
 شنی: حداقل مقدار شن خاک ۸۵ درصد و میزان رس کمتر از ۱۵ درصد است.
 رسی: مقدار رس بیش از ۴۰ درصد و مقدار شن و سیلت خاک به ترتیب از ۴۵ تا ۴۰ درصد کمتر است.

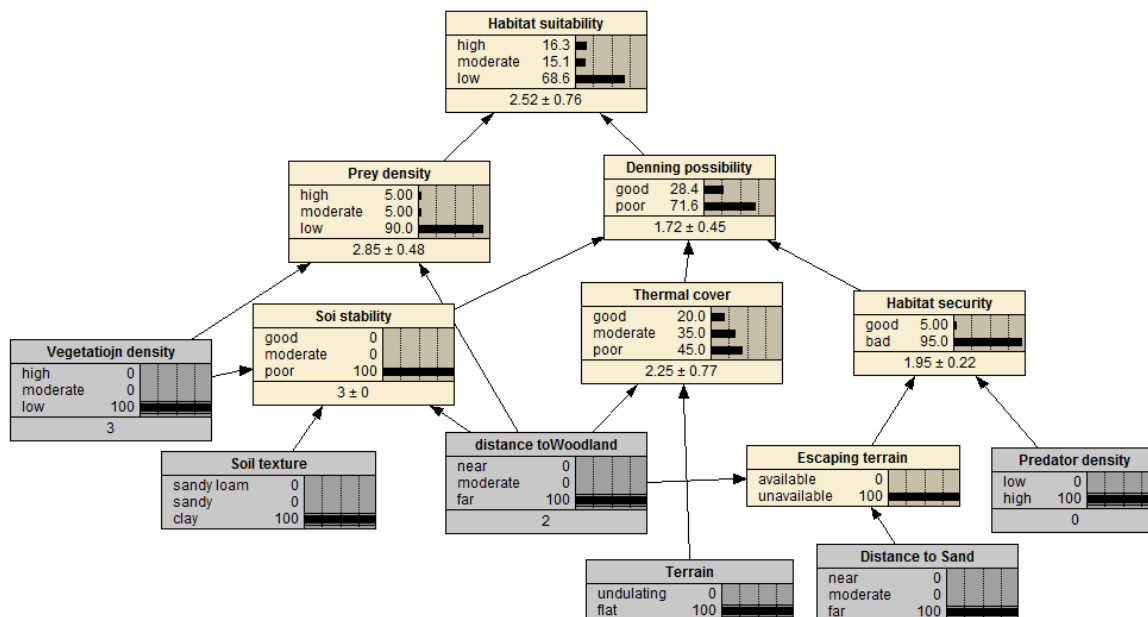
بافت خاک

۱۳

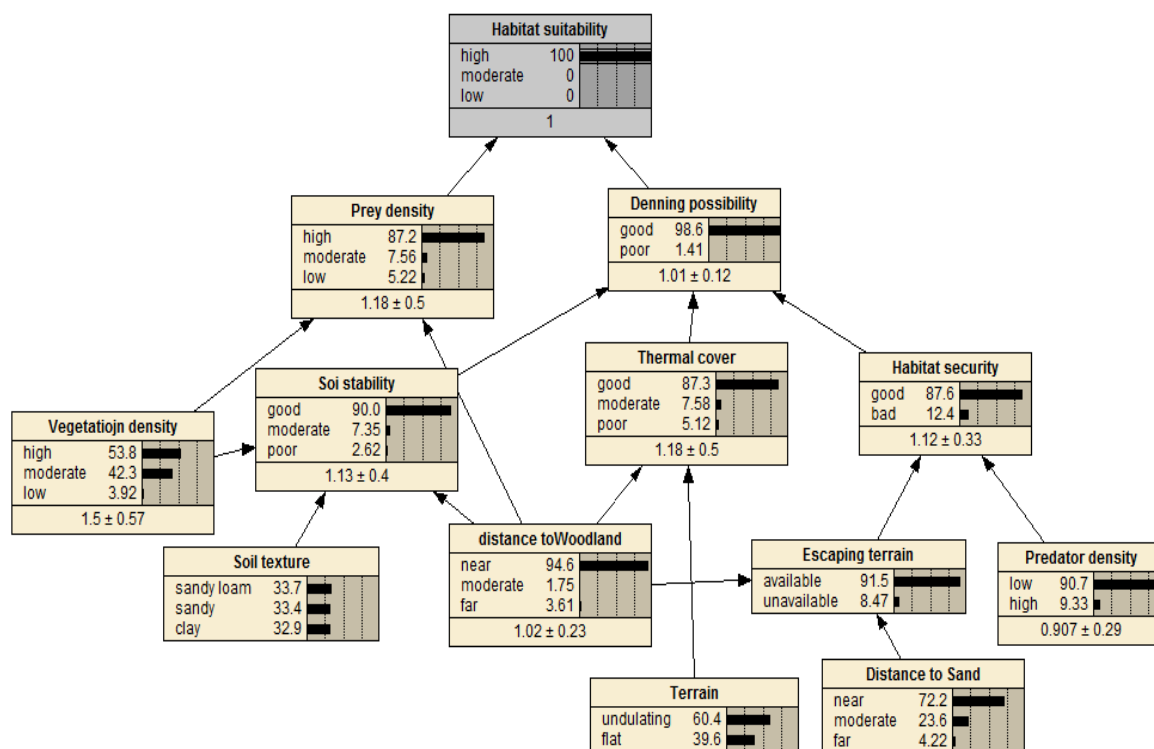
پیوست ۲:



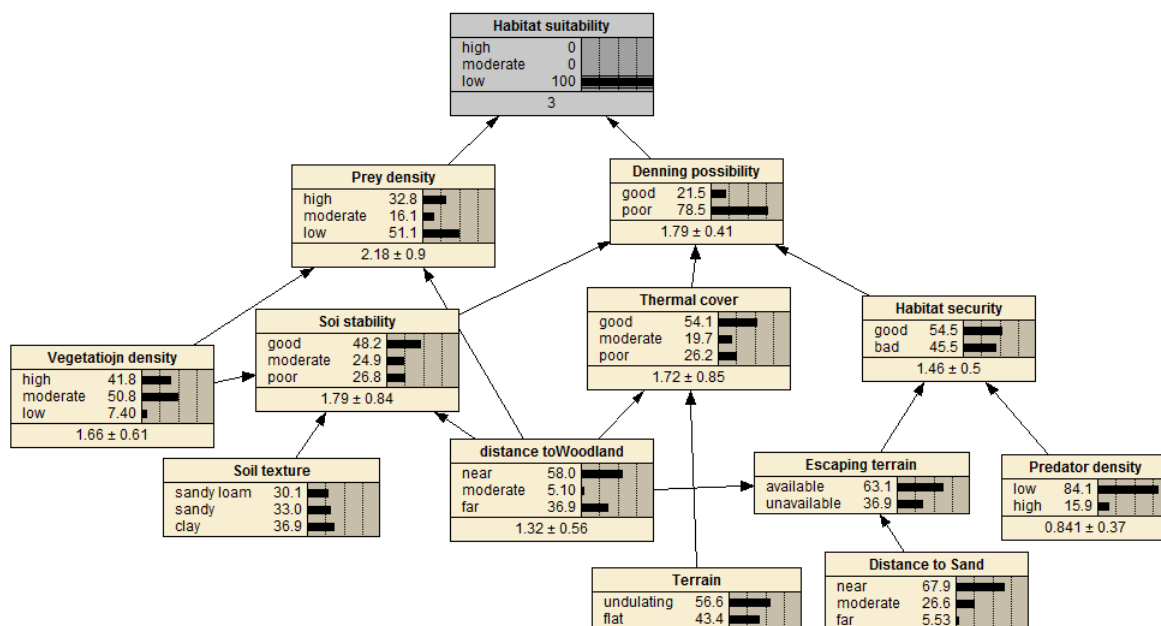
شکل الف - شرایطی که تمام متغیرهای ورودی مدل در بهترین وضعیت خود (۱۰۰٪) قرار دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مجموع احتمالات مطلوبیت بالا و مطلوبیت متوسط زیستگاه ۹۸/۸۹٪ است که نتیجه قابل قبولی از کارایی مدل است.



شکل ب- شرایطی که تمامی متغیرهای ورودی مدل در نامطلوب‌ترین وضعیت خود (۱۰۰٪) قرار دارند. در این حالت مجموع احتمالات مطلوبیت کم و مطلوبیت متوسط ۸۳/۷٪ است که نشان می‌دهد مدل در صورتی که زیستگاه شرایط نامطلوب را داشته باشد به شدت مطلوبیت زیستگاه را پایین می‌آورد.



شکل ج- شرایطی که مطلوبیت زیستگاه گربه‌ شنی در بهترین وضعیت خود (۱۰۰٪) قرار دارد. در این حالت مقادیر عددی گره فاصله از تاغ‌زار و تراکم طعمه‌خوار به دلیل اهمیت این گره‌ها در مطلوبیت زیستگاه بیشتر است.



شکل د- شرایطی که مطلوبیت زیستگاه گربه شنی در بدترین وضعیت خود (۱۰۰٪ نامطلوب) قرار دارد.