



پهنه‌بندی و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع تخلفات تعلیف غیرمجاز دام در پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک

میثم مددی^۱، حمیدرضا رضایی^{۱*}، علیرضا محمدی^۲، باقر نظامی بلوچی^۳، مریم شهبازی^۱

^۱- گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

^۳- گروه تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

نوع مقاله:

چکیده

پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲

کلمات کلیدی:

پارک ملی گلستان

تعلیف غیر مجاز دام

رگرسیون لجستیک

پهنه‌بندی تخلفات

مقدمه: درک صحیح از محرک‌های رفتاری انسان، یک عنصر حیاتی برای حفاظت مؤثر از زیستگاه‌ها و مناطق تحت حفاظت است. تخلفات حوزه محیط‌زیست شامل طیف گسترده‌ای از رفتارها و اقدامات همچون تخریب زیستگاه، از بین بردن رستنی‌ها، قطع درختان، تعلیف دام، شکار و قاچاق حیات وحش، ماهیگیری، تخلیه انواع زباله، پساب و پسماند، استخراج معادن و غیره است. آگاهی از این تخلفات می‌تواند به مدیران کمک کند تا منابع را روی گروه‌هایی که کمترین سازگاری با قوانین حفاظتی را دارند متمرکز و راهکارهای حفاظتی مطلوب‌تری را ارائه دهند. پارک ملی گلستان با توجه به اهمیت حفاظتی در سطح ملی و منطقه‌ای، با تنوعی از تخلفات انسانی مواجه است که خسارات عدیده فیزیکی، اکولوژیکی و اقتصادی بر آن وارد می‌کنند. از این رو، تعیین دقیق مناطق مستعد ارتکاب تخلفات، می‌تواند گامی مؤثر در تبیین و افزایش درک لزوم حفاظت از این منطقه برای مردم، سیاست‌گذاران حوزه محیط‌زیست و مسؤولان سیاسی و قضایی باشد. با توجه به پیچیدگی فرایند شناسایی و مکان‌یابی تخلفات تعلیف غیرمجاز دام و تأثیرگذاری عوامل مختلف زیستگاهی و انسانی بر وقوع آن، از مدل رگرسیون لجستیک به منظور پهنه‌بندی جرم در این منطقه استفاده شد. اجرای این روش یک رویکرد کمی برای اندازه‌گیری جرایم و شناسایی راه‌حل‌های عملی برای کاهش جرم در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها: پارک ملی گلستان اولین پارک ملی ایران است که از سال ۱۳۳۶ تحت حفاظت قرار دارد. به منظور پهنه‌بندی و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع تخلفات تعلیف غیرمجاز دام در پارک ملی گلستان از روش رگرسیون لجستیک در محیط نرم افزار TerrSet IDRISI بهره برده شد. رگرسیون لجستیک یکی از مدل‌های مناسب جهت اجرای پهنه‌بندی است که با استفاده از داده‌های موجود، یک معادله برای پیش‌بینی و بیان تغییرات متغیر وابسته، بر اساس متغیرهای مستقل ارائه می‌دهد. این روش از برآورد حداکثر احتمال برای یافتن بهترین عواملی که مدل را برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. معادله رگرسیونی پیش‌بینی احتمال وقوع تخلف غیرمجاز دام در مرز پارک ملی گلستان، حاصل از مدل‌سازی رگرسیون لجستیک با استفاده از متغیرهای مستقل فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و انسانی است.

نتایج: نتایج حاصل از اجرای مدل و معادله رگرسیونی پیش‌بینی احتمال وقوع تخلف تعلیف غیرمجاز دام در داخل پارک ملی گلستان نشان داد که مؤثرترین عامل در احتمال وقوع تخلف، فاصله از جاده با ضریب $-۵/۶۷۹$ است. ارتفاع با ضریب $۴/۱۹۲$ ، زبری با ضریب $۴/۰۵۱$ ، فاصله از چشمه‌ها با ضریب $-۲/۳۴$ در

درجات بعدی اهمیت قرار دارند. عامل جهت با ضریب $0/0015$ به‌عنوان کم‌اثرترین متغیر مستقل تعیین گردیده است. ضرایب لایه‌های شیب، فاصله از جاده، فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی، فاصله از منابع آبی (رودخانه و چشمه)، منفی به‌دست‌آمده است که بیانگر کاهش احتمال وقوع تخلف با افزایش فاصله از متغیرها است. مقادیر شاخص Pseudo R2 برابر $0/2402$ ، شاخص ROC برابر با $0/8916$ و شاخص Chi Square نیز برابر $8447/8493$ به دست آمده است که برازش قابل قبول مدل را تأیید و نشان‌دهنده دقت بسیار خوب و بالای اجرای مدل و وجود رابطه قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک است. حذف تک به تک هر یک از متغیرهای مستقل و انجام مقایسه حساسیت‌سنجی با استفاده از شاخص‌های آماری، تأیید کننده متغیر مستقل فاصله از جاده، به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر وقوع تخلفات چرای غیرمجاز دام بوده‌اند.

بحث: نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک، بهترین تابع برازش را جهت توصیف ارتباط بین عوامل تأثیرگذار بر انجام تخلفات تعلیف غیرمجاز دام و نیز پیش‌بینی وقوع آن ارائه داد. بر این اساس، تقریباً تمام مناطق پیرامونی پارک ملی گلستان که دارای جاده‌های دسترسی هستند، مستعد حضور دامداران غیرمجاز هستند. عواملی مهمی همچون کمبود نیروهای اجرایی، نبود پاسگاه‌های حفاظتی کافی و عدم فعالیت کامل برخی پاسگاه‌های موجود نیز در تشدید بروز تخلفات چرای غیرمجاز دام بسیار اثرگذار است. از طرفی به علت عدم تعیین حریم برای مناطق چهارگانه سازمان حفاظت محیط‌زیست و تنها اتکا به مرز پیرامونی مناطق حفاظت شده به‌عنوان مرز رسمی، موجب گردیده است که دامداران غیرمجاز نیز با شناسایی زیستگاه‌های مطلوب حاشیه جاده‌های پیرامونی پارک ملی گلستان، اقدام به ورود به پارک ملی گلستان و چرای غیرمجاز دام نمایند. از این رو، با شناسایی کانون‌های تخلف و افزایش کارایی گشت‌زنی در این مناطق، می‌توان تا حد زیادی از وقوع تخلفات دام غیرمجاز جلوگیری نمود و با احیا عرصه‌های تخریب یافته، به بهبود کیفیت اکوسیستم کمک کرد.

مقدمه

مناطق حفاظت‌شده سنگ بنای استراتژی حفاظت هستند که در جهان، از نظر تعداد و وسعت، در اکوسیستم‌های خشکی و آبی در حال افزایش هستند (Watson *et al.*, 2014). فعالیت‌های غیرقانونی در مناطق حفاظت‌شده به‌عنوان یک موضوع مورد توجه و نگرانی بین‌المللی، در چند دهه اخیر شتاب بیشتری گرفته است (Wilson-Wilde, 2010). این نوع از فعالیت‌ها، یک مشکل عمده در حفاظت به شمار می‌آیند که مقیاس آن در سطوح جهانی و محلی نامشخص است. در مورد عوامل محرک فعالیت‌های غیرقانونی و نحوه هدف‌گذاری اجرای قانون برای کاهش تأثیر فعالیت‌های غیرقانونی، فقدان دانش و شناخت کافی وجود دارد. وجود این شکاف‌های اطلاعاتی، بهبود روند حفاظت را محدود و مقابله با مشکل و حل مسائل را دشوار می‌نماید (Rija, 2017). بنابراین، درک صحیح از محرک‌های رفتاری انسان، یک عنصر حیاتی

برای حفاظت مؤثر از زیستگاه‌ها و مناطق تحت حفاظت است (Milner, 2012). تعاملات انسانی با مناطق حفاظت‌شده، در شرایط مختلف نزدیکی و دوری، می‌تواند مضر، خنثی و یا مفید باشد. با این حال، آگاهی از رفتار مردم، اغلب به دلیل ترس آنان از پیگرد قانونی و ماهیت رمزآلود رفتار آنان محدود و مشکل است و در نتیجه تعیین میزان واقعی بهره‌برداری غیرقانونی از منابع طبیعی بسیار دشوار خواهد بود (Nellemann *et al.*, 2014; Madadi *et al.*, 2023)؛ از این رو، برنامه‌ریزی مؤثر حفاظتی، مستلزم درپیش‌گرفتن استراتژی‌های حفاظتی جدید برای بهبود اثربخشی مناطق حفاظت‌شده (Watson *et al.*, 2016) و استفاده از روش‌هایی است که فعالیت‌های غیرقانونی را به‌دقت شناسایی و کمی‌سازی کند. انتخاب روش به نوع اطلاعات مورد جستجو، بودجه، ظرفیت و ماهیت رفتار غیرقانونی بستگی دارد (Gavin *et al.*, 2010).

ارزیابی فعالیت شکار غیرمجاز دارند. در مورد اثرات چرای غیرمجاز دام در مناطق حفاظت شده بر گونه‌های حیات وحش مطالعاتی انجام شده است (Wei & Coauthors, 2018)، اما در مقایسه، شناخت الگوهای جغرافیایی بروز تخلفات مرتبط با چرای غیرمجاز دام به‌ندرت انجام شده است.

شناخت توزیع جغرافیایی تخلفات و علل بنیادی بروز هر یک از آن‌ها بسیار مهم است (Ghasemi & Kalteh, 2014). درک و شناخت الگوهای فضایی و زمانی فعالیت‌های غیرقانونی در مناطق حفاظت شده و درک رابطه بین جرم و محیط اطراف آن، می‌تواند راهبرد مؤثری در جهت اخذ تصمیمات مطلوب مدیران برای جلوگیری از ارتکاب جرم و در نتیجه کاهش اثرات فعالیت‌های غیرقانونی بر روی گونه‌ها و حفظ یکپارچگی اکوسیستم‌های حفاظت شده باشد.

از اواسط قرن نوزدهم، مطالعات الگوی جرم، چه با استفاده از کاغذ یا نقشه‌های دیجیتالی، از منظر مکانی، نشان داده است که فعالیت‌های مجرمانه به شدت به الگوهای خاصی وابسته بوده و قابل پیش‌بینی هستند. به عبارت دیگر، جرایم به طور تصادفی نیستند و توزیع فضایی مشخص دارند (Cozens et al., 2005) و به طور معمول در سال‌های مختلف پایدار هستند (Weisburd et al., 2012)؛ بنابراین می‌توان با تمرکز بر کانون‌های شناسایی شده که در تعداد کمی از مکان‌ها قرار دارند، با مشکلات جرم مقابله کرد. بر اساس این واقعیت که توزیع حوادث جرم از یک الگو پیروی می‌کنند، مفهوم پیشگیری از جرم از طریق طراحی محیطی (CPTED)^۴ از دهه ۱۹۷۰ ارائه شده است. کشف ویژگی مکان‌های متمرکز بر جرم از برنامه‌ریزی استراتژی‌های CPTED پشتیبانی می‌کند. در این استراتژی‌ها، مدل‌های تجربی توسعه می‌یابند و مدل‌های پیش‌بینی برای پیش‌بینی مناطق جرم به کار برده می‌شوند. پهنه‌بندی جرم به روشی مؤثر برای بررسی الگوی فضایی جرم در یک منطقه مشخص تبدیل شده است. پهنه‌بندی به طور قابل توجهی در دهه ۱۹۸۰ توسعه یافت و به طور گسترده در زمینه جرم‌شناسی به کار گرفته شد. فناوری‌های GIS به روش‌های مختلفی

علی‌رغم این‌که پرسش مستقیم از مردم روشی مقرون به صرفه برای ارزیابی میزان برداشت آنان از منابع طبیعی است، با این حال، مصاحبه‌شوندگان ممکن است تمایلی به بحث در مورد مشارکت در فعالیت‌های غیرقانونی یا حساس نداشته باشند و ممکن است از پاسخ‌دادن به سؤالات اجتناب کنند که این مورد در مطالعات حساسی مانند تخلفات حوزه محیط‌زیست، منجر به عدم بیان واقعیت می‌شود (John et al., 2010).

تخلفات حوزه محیط‌زیست شامل طیف گسترده‌ای از رفتارها و اقدامات همچون تخریب زیستگاه، از بین بردن رستنی‌ها، قطع درختان، تعلیف دام، شکار و قاچاق حیات وحش، ماهیگیری، تخلیه انواع زباله، پساب و پسماند، استخراج معادن و غیره است. برآوردهای مستقل برنامه محیط‌زیست سازمان ملل^۱، پلیس بین‌الملل^۲ و دفتر مبارزه با مواد مخدر و جرم سازمان ملل متحد^۳ نشان می‌دهد که ارزش مالی سود حاصل از ارتکاب این نوع تخلفات بین ۷۰ تا ۲۱۳ میلیارد دلار در سال است (Nellemann et al., 2014; Madadi et al., 2023).

در این میان، توسعه سریع دامپروری عمیقاً بر اکوسیستم‌های طبیعی در سراسر جهان تأثیر گذاشته است (Hong et al., 2021). چرای غیرمجاز دام در مناطق حفاظت شده مدت‌هاست به‌عنوان یک تهدید برای حیات وحش شناخته می‌شود که از طریق ایجاد رقابت، تخریب زیستگاه، افزایش درگیری بین انسان و گوشت‌خواران و اختلال در روابط شکارچی و شکار، می‌تواند اهداف حفاظتی را تضعیف کند. علاوه بر این، دام‌ها و انسان‌ها ممکن است گیاهخواران وحشی را از زیستگاه‌های بهینه خود حذف کنند و به همین ترتیب تغییرات سریع در استفاده از فضای گوشت‌خواران و الگوی فعالیت زمانی آنان ایجاد نمایند. این موضوعات علی‌رغم بحث‌های فراوان هنوز به خوبی درک نشده‌اند (Rovero et al., 2020).

در مقایسه با مطالعات انجام‌گرفته در خصوص تخلفات حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی، مطالعات بسیار کمی در خصوص تخلفات مرتبط با حوزه محیط‌زیست انجام‌گرفته است و اغلب مطالعات جهانی در این حوزه نیز، تمرکز بر

¹ United Nations Environment Programme (UNEP)

² INTERPOL

³ United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC)

⁴ Concept of Crime Prevention Through Environmental Design (CPTED)

برای شناسایی الگوهای توزیع جرم و شناسایی، مدل‌سازی و پیش‌بینی "نقاط داغ" مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ye et al., 2018).

بر اساس بند "د" ماده ۱۰ قانون شکار و صید مصوب سال ۱۳۴۶ با اصلاحات بعدی، از بین بردن رستنی‌ها از جمله قطع درختان، خارزنی، بوته‌کنی و تعلیف غیرمجاز در مناطق حفاظت‌شده و پناهگاه‌های حیات‌وحش و تجاوز و تخریب در این مناطق جرم محسوب گردیده و هر کس، مرتکب این جرم گردد به جریمه نقدی و یا حبس از یک تا شش ماه محکوم می‌گردد. همچنین بر اساس بند "ج" ماده ۱۲ قانون مذکور نیز، از بین بردن رستنی‌ها و تعلیف و تخریب در پارک‌های ملی و آثار طبیعی ملی و هرگونه تجاوز و فعالیت غیرمجاز در این‌گونه مناطق ممنوع بوده و ارتکاب آن مجازاتی برابر با سه‌ماه تا سه‌سال حبس در پی خواهد داشت (Saed, 2007).

طی دو دهه اخیر با بروز تخلفات همچون تعلیف غیرمجاز دام اهلی در داخل پارک ملی گلستان، آثار و خسارات عدیده فیزیکی، اکولوژیکی و اقتصادی بر پارک ملی گلستان وارد گردیده است. از این رو تعیین دقیق مناطق مستعد چرای غیرمجاز دام و تعیین مهم‌ترین عوامل دخیل در ارتکاب این جرم، می‌تواند گامی مؤثر در تبیین و افزایش درک لزوم حفاظت از پارک ملی گلستان برای مردم، سیاست‌گذاران حوزه محیط‌زیست و مسئولان سیاسی و قضایی باشد و به بهبود برنامه‌ریزی گشت‌زنی و کنترل بیشتر کانون‌های وقوع تخلف کمک کند.

مواد و روش‌ها

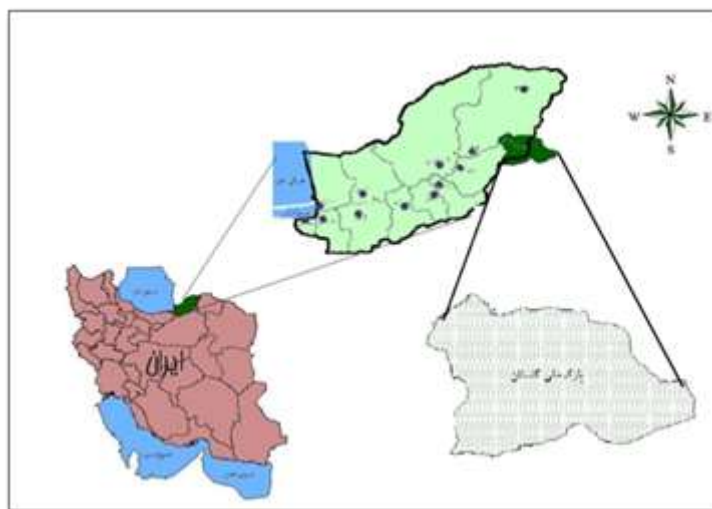
منطقه مورد مطالعه: پارک ملی و ذخیره‌گاه زیست‌کره گلستان تا قبل از سال ۱۳۳۶ از شکارگاه‌های شناخته شده کشور بود و به جنگل گلستان شهرت داشت. در مردادماه ۱۳۳۶ تمام منطقه حفاظت‌شده آلمه و ایشکی تحت حمایت قانون شکار قرار گرفت و تا سال ۱۳۴۰ توانست قابلیت‌های خود را در سایه کنترل و نظارت، ترمیم و به‌خوبی آشکار سازد. در بهمن‌ماه سال ۱۳۴۰ بدون تغییر وسعت بنام منطقه حفاظت‌شده آلمه نامیده شد. در سال ۱۳۵۳ پس از اصلاح قانون شکار و صید به پارک ملی تبدیل شد و پس از سال ۱۳۵۷ با جدا شدن

منطقه حفاظت‌شده قرخود در شرق، با عنوان پارک ملی گلستان تحت حفاظت قرار گرفت. این پارک در سال ۱۹۷۷ به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره انتخاب و به یونسکو ارائه گردید و تاکنون نیز جایگاه خود را به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره جهانی حفظ کرده است. در ۱۴ تیرماه سال ۱۳۹۸، این مجموعه به همراه بخش‌های دیگری از جنگل‌های هیرکانی در شمال کشور، از جمله جنگل ابر، مناطق حفاظت‌شده جهان‌نما، بولا، الیمستان، واز، کجور، چهارباغ، سیاه‌رود رودبار، گشت رودخان و لیسار و اثر طبیعی ملی خشکه‌داران، عنوان میراث طبیعی جهانی را به خود اختصاص داد. این منطقه به‌تنهایی حدود یک‌هشتم گونه‌های گیاهی و یک‌سوم گونه‌های پرندگان و بیش از ۵۰ درصد پستانداران کشور را در خود جای داده است. این پارک آینه تمام‌عیار نیمی از تنوع گیاهی و جانوری کشور است و با وجود چنین ویژگی‌هایی این منطقه توانسته است که در ردیف میراث طبیعی جهانی قرار گیرد (Ghaemi & Ghaemi, 2024).

مساحت پارک ملی گلستان ۹۱۸۹۵ هکتار و محیط آن ۱۹۸ کیلومتر است. حداقل ارتفاع از سطح دریا در این پارک در منطقه تنگراه با ۴۵۰ متر و حداکثر آن در دیوار کجی با ۲۴۱۱ متر می‌باشد (Faramarzi et al., 2018). حد پارک ملی و ذخیره‌گاه زیست‌کره گلستان منطقه‌ای کوهستانی است که در قسمت منتهی‌الیه شرق جنگل‌های هیرکانی در شمال کشور واقع شده است. این پارک در شرق استان گلستان، غرب استان خراسان شمالی و شمال استان سمنان و در فاصله بین $37^{\circ}31'00''$ و $53^{\circ}04'30''$ عرض شمالی و $55^{\circ}43'20''$ و $66^{\circ}17'00''$ طول شرقی بین شهرستان‌های گالیکش و آشخانه قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه از نظر شرایط آب‌وهوایی شدیداً تحت‌تأثیر رطوبت دریای خزر است و جریانات ناشی از بادهای غربی همواره رطوبت زیادی را به منطقه می‌آورد. دامنه نوسانات بارندگی در این پارک، تغییراتی از ۱۵۰ میلی‌متر در شرق تا ۷۵۰ میلی‌متر در غرب را نشان می‌دهد و در واقع میزان بارندگی از غرب به شرق کاسته می‌شود. دمای متوسط سالانه پارک بین ۱۱/۵ تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است و تغییرات دمای حداقل مطلق تا ۲۸- درجه و حداکثر

متنوع گردیده و در نتیجه زیستگاه‌های متنوعی نیز در آن شکل گرفته است (Ghaemi & Ghaemi, 2024). ۱۴۱۸ گونه (۱۴۳۰ آرایه) متعلق به ۹ جنس و ۱۰۸ تیره از گیاهان آوندی در محدوده پارک ملی گلستان شناخته شده است. این تنوع بی‌نظیر که در برگیرنده حدود یک‌پنجم کل گیاهان آوندی ایران است نشان از اهمیت فوق‌العاده پارک ملی گلستان در مساحت ۵ صدم درصدی ایران می‌باشد (Akhami, 2023).

مطلق تا ۴۵ درجه گزارش شده است. متوسط رطوبت نسبی ۷۵ درصد است. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، این میراث طبیعی جهانی دارای سه اقلیم متمایز است. در شرق و جنوب شرقی اقلیم خشک دیده می‌شود. در قسمت میانی و شمال اقلیم نیمه‌خشک وجود دارد و در بخش‌های غربی و جنوب غربی اقلیم نیمه‌مرطوب دیده می‌شود. وجود اقلیم سه‌گانه و همچنین میکروکلیم‌های متأثر از شرایط توپوگرافی، موجب تشکیل پوشش گیاهی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی پارک ملی گلستان در نقشه کشور و استان گلستان

از طریق یادگیری ماشین را برطرف نماید (Jerstad & Stensland, 2023).

رگرسیون لجستیک از جمله روش‌های موجود مدل‌های آماری (Khaledi et al., 2012) و تحلیلی چند متغیره است که جهت تعیین حضور یا عدم حضور یک ویژگی بر مبنای ارزش متغیرهای مستقل به کار گرفته می‌شود (Lee & Pradhan, 2007). با توجه به مزیت ساده‌سازی، این روش به طور گسترده برای توصیف رابطه رگرسیون چند متغیره بین پدیده‌ها و عوامل محیطی استفاده می‌شود (Chen & Song, 2023). به طور واضح‌تر، چنین مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین، می‌توانند با پیش‌بینی دقیق عوامل، رفتار و مکان‌های تخلف، به حفاظت کمک کنند (Oh et al., 2021).

مدل رگرسیون لجستیک، ابزاری مطلوب برای پیش‌بینی جرم و خطر است (Jerstad & Stensland, 2023). مزیت

رگرسیون لجستیک: امروزه روش‌های متنوع و بسیاری همچون یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی، داده‌کاوی، رگرسیون لجستیک، جنگل تصادفی و ترکیب خطی - وزنی ساده در شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع پدیده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mir Deilami et al., 2015). پهنه‌بندی جرم توسط روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین استفاده می‌شود و اجرای یک رویکرد کمی برای اندازه‌گیری جرایم، می‌تواند به شناسایی راه‌حل‌های عملی برای کاهش جرم در مناطق خاص کمک کند (Wang et al., 2019). اطلاعات ارزشمندی که از طریق یک سیستم پیش‌بینی بسیار دقیق ارائه می‌شود، بینش لازم را برای درک تعامل بین جغرافیا و جرم تولید می‌نماید (Berk & Bleich, 2013). این داده‌ها می‌توانند به شناسایی الگوهای فضایی و توسعه استراتژی‌های پیشگیری از وقوع جرم برای مکان‌های خاص کمک کنند (Ratcliffe, 2010) و شکاف تحقیقات علمی مرتبط با پیش‌بینی ارتکاب تخلفات

آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی:

۱- آماده سازی داده‌های متغیر وابسته (مناطق تعلیف غیرمجاز دام)

تهیه و آماده‌سازی داده‌ها قبل از اجرای تجزیه و تحلیل، مرحله‌ای حساس و زمان‌بر است و تقریباً ۷۵ تا ۹۰ درصد یک پروژه را شامل می‌گردد. از طرفی، انتخاب متغیرهای مناسب برای ورود به تجزیه و تحلیل و برآورد مدل از جمله مهم‌ترین مراحل محسوب می‌گردد (Farashi *et al.*, 2010). اجرای مدل رگرسیون لجستیک نیازمند ورود دو دسته داده، شامل داده‌های متغیر مستقل و وابسته است. در ابتدا کلیه پرونده‌های حقوقی تعلیف غیرمجاز موجود در اداره حقوقی پارک ملی گلستان، در یک بازه زمانی ۱۸ ساله (سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۲)، مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات گردید و سپس کلیه نقاط به‌صورت دوره‌ای، با مراجعه به محل‌های شناسایی شده و با استفاده از دستگاه GPS، ثبت و به‌صورت نقشه و فایل رقومی تبدیل گردید. سپس در محیط نرم‌افزار IDRISI TerrSet و با استفاده از دستور RECLASS، به پهنه‌های تحت چرای غیرمجاز عدد یک و به پهنه‌هایی که چرای غیرمجاز انجام نگردید عدد صفر داده شد و نقشه بولین (صفر و یک) چرای غیرمجاز در داخل پارک ملی گلستان به‌عنوان متغیر وابسته جهت ورود به مدل تولید گردید. در شکل ۲ پراکنش رویدادهای تخلف تعلیف غیرمجاز دام در پارک ملی گلستان نشان داده شده است.

اصلی آن نسبت به دیگر روش‌های آماری چندمتغیره، در ویژگی متغیر وابسته است که دارای تنها دو حالت احتمال وقوع و عدم وقوع رویداد و یا به عبارتی ارزش‌های صفر و یک است (Dai & Lee, 2002).

با توجه به پیچیدگی فرایند تعلیف غیرمجاز دام در داخل پارک ملی گلستان و تأثیرگذاری عوامل مختلف زیستگاهی و انسانی بر وقوع آن، از مدل رگرسیون لجستیک به‌منظور پهنه‌بندی جرم در این منطقه استفاده می‌شود. اجرای این روش یک رویکرد کمی برای اندازه‌گیری جرایم و شناسایی راه‌حل‌های عملی برای کاهش جرم در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد (Wang *et al.*, 2019).

رگرسیون لجستیک جهت اجرای پهنه‌بندی با استفاده از داده‌های موجود، یک معادله برای پیش‌بینی و بیان تغییرات متغیر وابسته، بر اساس متغیرهای مستقل ارائه می‌دهد و از روش برآورد حداکثر احتمال ۵ برای یافتن بهترین عواملی که مدل را برازش می‌کنند استفاده می‌نماید و معادله آن مطابق رابطه ۱ است (Mir Deilami *et al.*, 2015).

(۱)

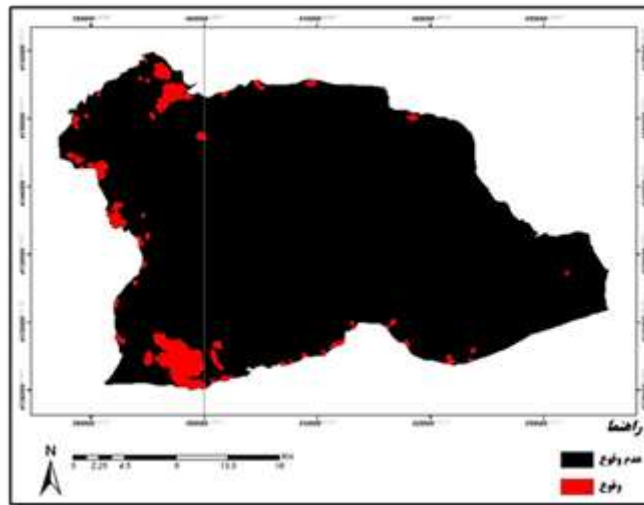
$$Y = \text{Logit}(p) = \ln(p/1-p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_n X_n$$

در معادله رگرسیون لجستیک، Logit یا لگاریتم شانس، در واقع لگاریتم طبیعی احتمال است (Roostaei *et al.*, 2015). P: احتمال وقوع رویداد، β_0 : عرض از مبدأ یا ضریب ثابت و $p/1-p$: نسبت شانس یا احتمال است.

ضرایب مدل نشان‌دهنده میزان تأثیر متغیر مستقل در وقوع و پیش‌بینی متغیر وابسته است و متغیرهای مستقلی که داری ضریب بالاتر هستند، تأثیر بیشتری بر میزان بروز رخداد و احتمال وقوع آن دارند (Seddighi & Ghasemi, 2023).

با تغییر مقادیر Y از - بی‌نهایت تا + بی‌نهایت، احتمال وقوع رخداد (تخلف چرای دام) به‌صورت منحنی S از ۰ تا 1 تغییر می‌کند (Vahab Zadeh *et al.*, 2017) که اعداد نزدیک به صفر، نشان دهنده احتمال وقوع کمتر و اعداد نزدیک به یک نشان دهنده احتمال وقوع بیشتر هستند (Roostaei *et al.*, 2015).

⁵ Maximum likelihood estimation



شکل ۲- نقشه بولین پراکنش چرای غیرمجاز در داخل پارک ملی گلستان طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۲

GIS تهیه شدند و جهت استفاده وارد نرم‌افزار TerrSet IDRISI گردید (شکل‌های ۴ و ۵).

شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی: شاخص پوشش گیاهی یکی از نقشه‌های مورد استفاده است که می‌تواند شرایط اساسی پوشش گیاهی را تشخیص دهد (Lan & Dong, 2022). این نقشه (شکل ۶)، از ترکیب باندهای B8 (مادون قرمز نزدیک) و B4 (قرمز) ماهواره Sentinel-۲ در محیط سامانه گوگل ارث انجین برای سال ۲۰۲۳ و با استفاده از رابطه ۲ تهیه گردید (Tian et al., 2023).

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4) \quad (۲)$$

زبری. این روش توسط Sappington و همکاران در سال ۲۰۰۷ با عنوان اندازه بردار زبری^۸ ارائه شده است. این لایه با شیب همبستگی کم‌تری دارد و معیار خوبی برای نشان دادن ویژگی‌های زیستگاهی محسوب می‌شود. زبری بالا در سطح زمین موجب تنوع بالای پوشش گیاهی می‌شود. محدوده زبری بین صفر (مسطح) و یک (کاملاً ناهموار) است (شکل ۷). ارزش‌ها در طبیعت برای زبری معمولاً کم‌تر از ۰/۲ است (Sappington et al., 2007). تولید نقشه زبری منطقه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع، در نرم‌افزارهای Arc GIS و QGIS قابل انجام است (Chisadza et al., 2023).

۲- آماده سازی داده‌های متغیرهای مستقل محیطی^۶

جهت پیش‌بینی مناطق مستعد تعلیف غیرمجاز دام در داخل پارک ملی گلستان، ابتدا لازم است که عوامل محرک و مؤثر بر وقوع جرم، شامل عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب، زبری)، گیاهی (شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی^۷)، انسانی و محیطی (موقعیت جاده آسفالت و خاکی، پاسگاه‌های محیط‌بانی، رودخانه‌ها، چشمه‌ها و روستاها)، به‌عنوان نقشه‌های متغیرهای مستقل محیطی، شناسایی، سپس آماده جهت تجزیه و تحلیل و ورود به مدل شوند که مراحل تهیه و آماده‌سازی لایه‌ها به‌صورت زیر است (Soofi et al., 2022; Madadi et al., 2020).

مدل رقومی ارتفاع: ارتفاع و عوامل فیزیوگرافیک شامل پستی بلندی‌ها است که جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها تأثیر به‌سزایی دارد (Khaledi et al., 2012). این متغیر با استفاده از لایه خطوط میزان، تولید و به‌صورت پیوسته مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳).

شیب و جهت شیب: نقشه‌های شیب و جهت شیب منطقه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزار Arc

^۶ Ecogeographical maps

^۷ Normalized difference vegetation index (NDVI)

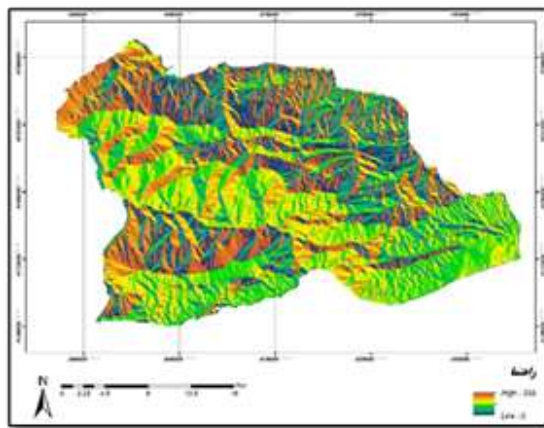
^۸ Vector Ruggedness Measure (VRM)

انجام تحلیل مسافت، وارد تجزیه و تحلیل شدند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

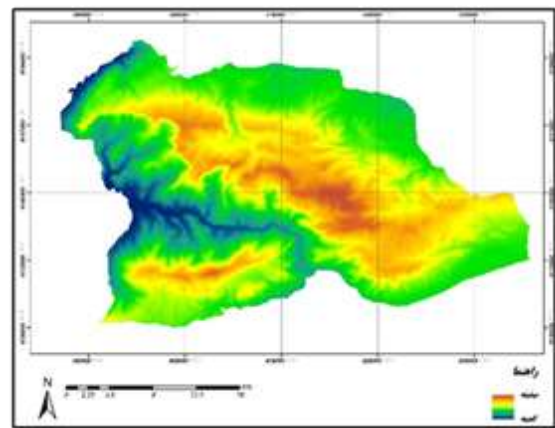
لایه پاسگاه‌های محیط‌بانی: این لایه از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان تهیه و سپس با توجه به اینکه این لایه می‌تواند شاخصی از ایجاد امنیت و محدودیت برای وقوع جرایم به شمار آیند، با انجام تحلیل مسافت، وارد تجزیه و تحلیل شد (Shirzad, 2011). تعداد ۱۳ پاسگاه محیط‌بانی در داخل و اطراف پارک ملی گلستان وجود دارد که در تحلیل‌ها به کار گرفته شد (شکل ۱۲). کلیه تحلیل‌های مسافت و تولید لایه‌های فاصله از عوامل پیشگفت با استفاده از نرم‌افزارهای IDRISI TerrSet و Arc GIS انجام گردید و در نهایت تمامی لایه‌های تولیدی به صورت نقشه رستری آماده کار گردیدند.

لایه‌های توسعه انسانی (روستاها و جاده‌های آسفالت و خاکی): برای استفاده از لایه‌هایی نظیر جاده و روستا که لایه‌های کیفی به شمار می‌روند، لازم است تا با استفاده از تحلیل مسافت به صورت کمی در آیند. جهت این کار، ابتدا این لایه‌ها با استفاده از اطلاعات برگرفته شده از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان و طی بررسی‌های میدانی، در محیط نرم‌افزار Google Earth Pro به روزرسانی گردیدند و سپس تحلیل مسافت بر روی آن‌ها انجام و وارد تجزیه و تحلیل شدند (شکل‌های ۸ و ۹).

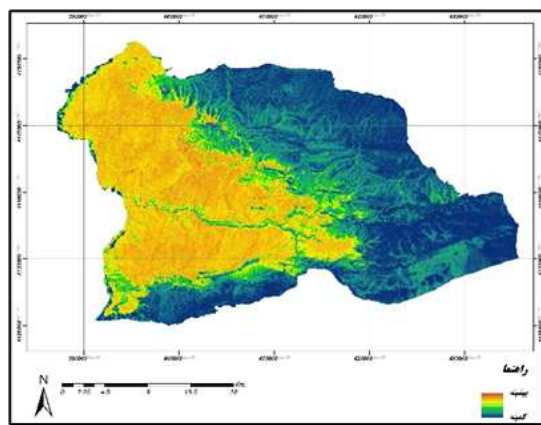
لایه‌های منابع آبی و آبراهه: در این مطالعه، لایه‌های منابع آب (رودخانه و چشمه) از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان اخذ و پس از به روز کردن لایه منابع آب و



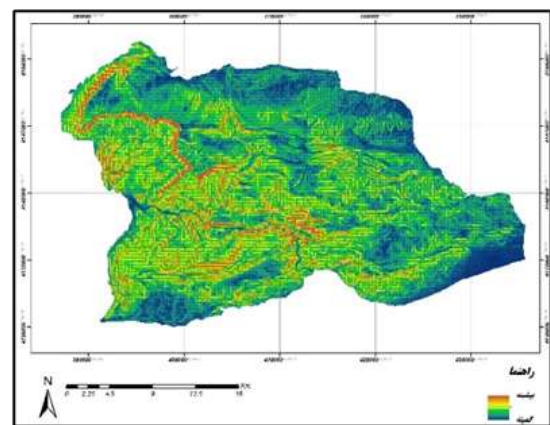
شکل ۴- نقشه جهت



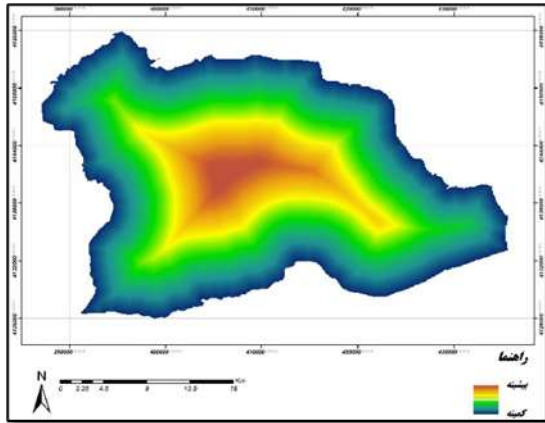
شکل ۳- نقشه ارتفاع



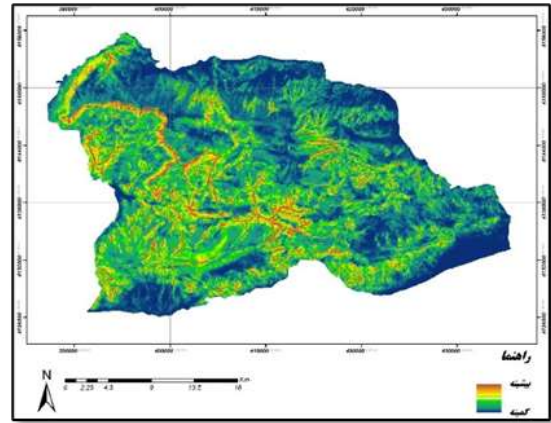
شکل ۶- شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی



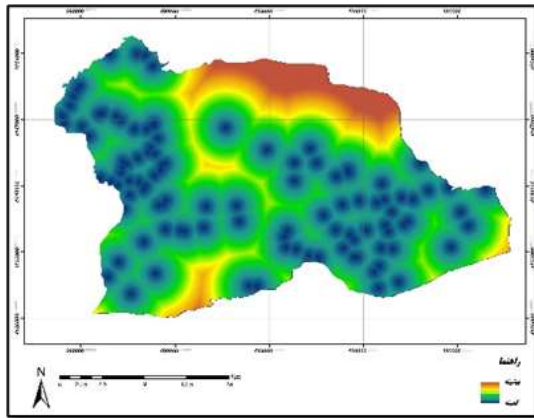
شکل ۵- نقشه شیب



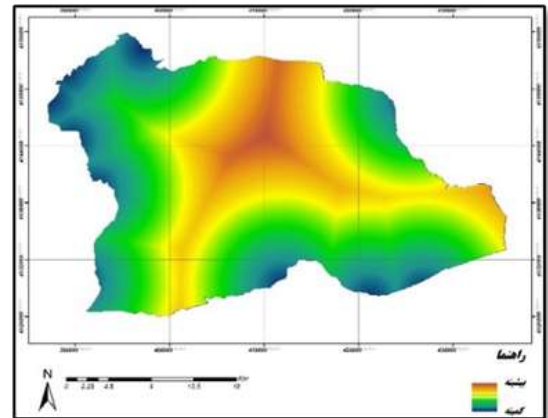
شکل ۸ - نقشه فاصله از جاده آسفالت و خاکی



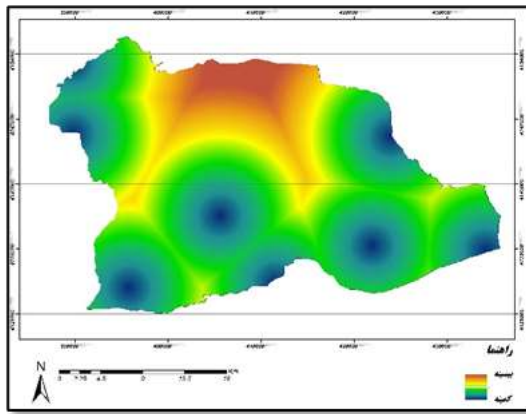
شکل ۷ - نقشه زبری (Ruggedness)



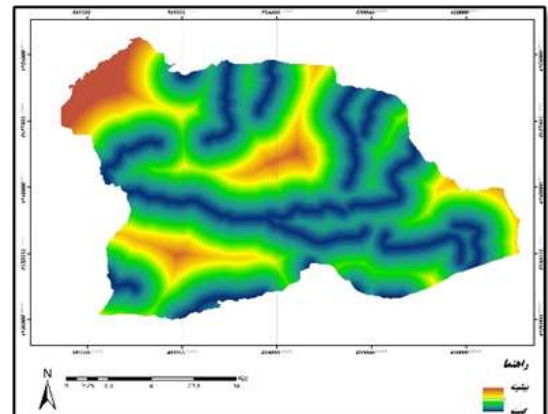
شکل ۱۰ - نقشه فاصله از چشمه‌ها



شکل ۹ - نقشه فاصله از روستاها



شکل ۱۲ - نقشه فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی



شکل ۱۱ - نقشه فاصله از رودخانه‌ها

کم‌اهمیت و غیرمؤثری را به‌اشتباه، به‌عنوان متغیر مهم در مدل رگرسیونی برآورد شده نهایی وارد می‌نماید و ممکن است با افزایش کاذب مقادیر R^2 بر نتیجه مدل و تحلیل‌ها، تأثیر گذارد (Lin, 2024). در تجزیه‌وتحلیل‌های رگرسیون گام‌به‌گام و رگرسیون لجستیک متغیرهایی که مقدار معنی‌داری از تغییرات (واریانس) را توجیه نمی‌کنند، از مدل نهایی حذف خواهند شد؛ از این‌رو، اگر

تعیین همبستگی نقشه‌های متغیرهای مستقل محیطی: ممکن است همه متغیرهای مستقل شناسایی شده برای ساخت مدل رگرسیون لجستیک ویژگی‌های جرم مناسب نباشند. از این‌رو، بررسی چگونگی همبستگی متغیرهای مستقل محیطی، از نکات حائز اهمیت قبل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها است که نیازمند توجه کافی است. چرا که همبستگی بین متغیرها، متغیر

IDRISI استفاده گردید (Farashi *et al.*, 2010). جدول ۱ قالب تشکیل شده برای همگن‌سازی و قابل‌انطباق نمودن نقشه‌ها را در تجزیه‌وتحلیل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد.

جدول ۱- قالب نقشه رقومی ارتفاع جهت همسان‌سازی دیگر لایه‌ها

| فرمت فایل‌ها | رستری |
|-----------------|--------------|
| نوع داده | Real |
| نوع فایل | Binary |
| تعداد ستون‌ها | ۱۶۲۰ |
| تعداد سطرها | ۹۹۸ |
| سیستم مرجع | Utm-40n |
| واحد مرجع | متر |
| حداقل X | ۳۸۷۱۱۶/۹۰۶۲۵ |
| حداکثر X | ۴۳۵۷۰۶/۹۰۶۲۵ |
| حداقل Y | ۴۱۲۵۹۵۷/۵ |
| حداکثر Y | ۴۱۵۵۹۰۷/۵ |
| بزرگ‌نمایی سلول | ۳۰ متر |
| حداقل ارزش | ۴۶۷ |
| حداکثر ارزش | ۲۳۳۱/۳۷۲ |

ارزیابی صحت نقشه‌های پیش‌بینی تولید شده: جهت ارزیابی صحت مدل و نقشه‌های حاصل از اجرای رگرسیون لجستیک، روش‌های مختلفی وجود دارد. در بررسی دقت و صحت نقشه‌های تولید شده، توجه به این مسأله است که مدل به کار گرفته شده تا چه مقدار می‌تواند متغیر وابسته (چرای غیرمجاز دام) را در ارتباط با وابستگی به متغیرهای مستقل به‌خوبی پیش‌بینی کند. نرم‌افزار IDRISI از شاخص ROC^{10} برای مقایسه یک نقشه بولین تولید شده (وجود یا عدم وجود پدیده) با نقشه احتمال وقوع پدیده استفاده می‌نماید (Roostaei *et al.*, 2015). مقادیر ۱، نشان‌دهنده توافق کامل مکانی و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق کم مدل با واقعیت (تطابق اتفاقی) است (Mir Deilami *et al.*, 2015) و ارزیابی تخمین به‌صورت ۰/۹-۱ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف می‌باشد (Boroughani & Pourhashemi, 2019). در حقیقت این شاخص مقدار

دو متغیر دارای همبستگی بالایی باشند، یکی از دو متغیر را باید حذف نمود. تجزیه‌وتحلیل رگرسیون نیاز به متغیرهایی دارد که منطقاً غیروابسته هستند (همبستگی ندارند). در واقع در تجزیه و تحلیل‌ها اگر دو متغیر همبستگی بالایی داشته باشند، هر دو با یک ضریب در مدل نهایی ظاهر خواهند شد؛ بنابراین، این دسته از متغیرهای وابسته باید به طور قضاوتی توسط کاربر حذف گردند. معمولاً توصیه می‌شود که اگر دو یا چند متغیر دارای همبستگی بیش از ۰/۸۵ بودند، حذف یکی از آن‌ها از فهرست متغیرهای واردشونده به تجزیه‌وتحلیل الزامی است (Farashi *et al.*, 2010). برای انجام این تحلیل، ماتریس همبستگی^۹ نقشه‌های متغیرهای مستقل محیطی محاسبه می‌گردد.

اجرای مدل رگرسیون لجستیک: جهت انجام تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک از نرم‌افزار IDRISI TerrSet استفاده می‌شود. این نرم‌افزار بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش‌ازدور و نرم‌افزارهای آماری، بر اساس تجزیه‌وتحلیل پارامترهای مستقل عمل می‌نماید. IDRISI به‌گونه‌ای طراحی شده است که می‌تواند با نرم‌افزار Arc GIS در ارتباط باشد و از فایل‌هایی با ساختار یکسان استفاده کنند؛ از این رو، مبادلات فایل‌ها بین آن‌ها به‌راحتی امکان‌پذیر است.

برای ورود لایه‌های تولید شده متغیرهای مستقل و وابسته به فرایند اجرای مدل رگرسیون لجستیک، لازم است تا تمامی نقشه‌ها قابلیت روی‌هم‌گذاری داشته باشند؛ از این رو کلیه نقشه‌ها می‌بایست صرفاً همان محدوده مطالعاتی را پوشش دهند و دارای بزرگ‌نمایی برابری باشند و نیز سیستم جغرافیایی یکسانی داشته باشند. به این منظور قالبی یکسان برای تمامی نقشه‌ها در نظر گرفته شد و تمامی نقشه‌ها بر اساس این قالب اصلاح شدند. باتوجه‌به اینکه در این مطالعه، اکثر نقشه‌ها بر اساس محدوده و سیستم جغرافیایی نقشه طبقات ارتفاع ساخته شده‌اند؛ بنابراین، از مشخصات آن به‌عنوان مرجع استفاده گردید. علاوه‌برآن، جهت جلوگیری از بروز خطای نرم‌افزاری، نوع تمامی لایه‌ها باید Real یا Byte باشد که برای تبدیل نوع داده از فرمان Convert در نرم‌افزار

¹⁰ Relative Operating Characteristic

⁹ Correlation Matrix

برای مدل بهترین برازش و $-2\ln(L0)$ برای فرضیه صفر، به دست می‌آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنادار باشد ($\text{Chi Square} > 14.1$)، فرضیه صفر رد می‌شود (Roostaei *et al.*, 2015).

نتایج

تحلیل همبستگی بین متغیرهای مستقل محیطی و اجرای رگرسیون لجستیک: بر اساس نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین متغیرهای مستقل محیطی و نتایج همبستگی متغیرها در جدول ۲، هیچ‌یک از متغیرها دارای همبستگی بالای ۸۵ درصد نبوده و همه لایه‌ها در تجزیه و تحلیل به کار گرفته شدند.

پیش‌بینی سیستم را از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع و عدم وقوع پدیده را نشان می‌دهد (Vahab Zadeh *et al.*, 2017). علاوه بر بررسی شاخص ROC، به منظور تکمیل نتایج و ارزیابی بهترین برازش مدل از دو آماره Chi Square و Pseudo R^2 نیز استفاده گردیده است. چنانچه مقدار Pseudo R^2 برابر با یک باشد، نشان‌دهنده برازش کامل مدل و در صورتی که این مقدار برابر با صفر باشد، نشان‌دهنده عدم ارتباط عوامل انتخابی با عامل وابسته خواهد بود. چنانچه مقدار Pseudo R^2 بزرگ‌تر از ۰.۲ باشد، نشان‌دهنده برازش نسبتاً خوب مدل است (Faramarzi *et al.*, 2018; Shirani & Arab Ameri, 2015).

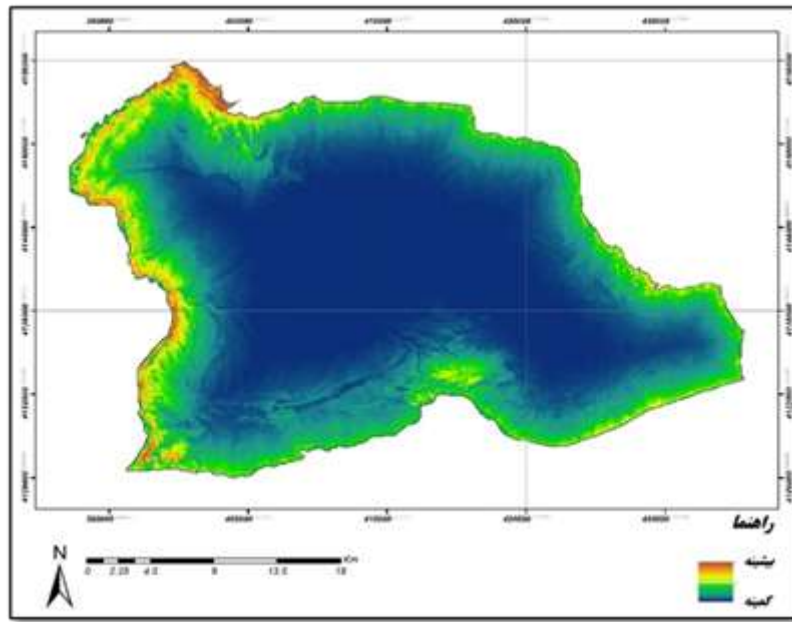
آماره Chi Square یک تست معتبر و معمولی برای رگرسیون لجستیک است که از اختلاف بین $-2\ln(L)$

جدول ۲- نتایج همبستگی بین متغیرهای مستقل محیطی

| متغیرهای مستقل | جهت | ارتفاع | آبراهه | جاده | چشمه | روستا | پاسگاه | NDVI | زبری | شیب |
|----------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| جهت | ۱ | -۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۰ | -۰/۰۹ | -۰/۰۷ | -۰/۰۴ | ۰/۱۴ | ۰/۰۶ | ۰/۰۹ |
| ارتفاع | -۰/۰۶ | ۱ | ۰/۳۳ | ۰/۴۸ | ۰/۰۱ | ۰/۴۴ | ۰/۱۵ | -۰/۱۶ | -۰/۰۹ | -۰/۰۴ |
| آبراهه | ۰/۰۲ | ۰/۳۳ | ۱ | ۰/۱۱ | -۰/۰۷ | -۰/۱۳ | -۰/۱۲ | -۰/۰۱ | -۰/۰۷ | ۰/۰۱ |
| جاده | ۰ | ۰/۴۸ | ۰/۱۱ | ۱ | -۰/۱۳ | ۰/۲۹ | ۰/۲۵ | ۰/۰۵ | ۰ | ۰/۰۶ |
| چشمه | -۰/۰۹ | ۰/۰۱ | -۰/۰۷ | -۰/۱۳ | ۱ | ۰/۲۵ | ۰/۳۲ | -۰/۲۵ | -۰/۱۷ | -۰/۲۴ |
| روستا | -۰/۰۷ | ۰/۴۴ | -۰/۱۳ | ۰/۲۹ | ۰/۲۵ | ۱ | ۰/۴۶ | -۰/۱۴ | -۰/۰۲ | -۰/۰۳ |
| پاسگاه | -۰/۰۴ | ۰/۱۵ | -۰/۱۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳۲ | ۰/۴۶ | ۱ | -۰/۰۳ | -۰/۰۶ | -۰/۰۵ |
| NDVI | ۰/۱۴ | -۰/۱۶ | -۰/۰۱ | ۰/۰۵ | -۰/۲۵ | -۰/۱۴ | -۰/۰۳ | ۱ | ۰/۲۹ | ۰/۴۳ |
| زبری | ۰/۰۶ | -۰/۰۹ | -۰/۰۷ | ۰ | -۰/۱۷ | -۰/۰۲ | -۰/۰۶ | ۰/۲۹ | ۱ | ۰/۵۱ |
| شیب | ۰/۰۹ | -۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۶ | -۰/۲۴ | -۰/۰۳ | -۰/۰۵ | ۰/۴۳ | ۰/۵۱ | ۱ |

دام به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه پیش‌بینی گردیدند و در نهایت نقشه احتمال وقوع تخلفات چرای غیرمجاز دام در داخل پارک ملی گلستان تولید گردید (شکل ۱۳).

پس از آماده‌سازی کلیه لایه‌ها در نرم‌افزار IDRISI، نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر در وقوع تخلف تعریف غیرمجاز دام در داخل مرز پارک ملی گلستان، به‌عنوان متغیرهای مستقل و نقشه‌های وقوع تخلف چرای غیرمجاز



شکل ۱۳- نقشه پیش‌بینی وقوع تخلف چرای غیرمجاز دام در پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک

جدول ۳- ضرایب حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک

| ضرایب | متغیر مستقل |
|---------|---------------------------|
| -۰/۰۰۶۵ | شیب |
| ۰/۰۰۱۵ | جهت |
| ۴/۱۹۲ | ارتفاع |
| ۴/۰۵۱ | ضریب زبری |
| ۰/۰۰۵۷ | NDVI |
| -۱/۴۵۹ | فاصله از پاسگاه محیط‌بانی |
| -۱/۱۲۶ | فاصله از رودخانه |
| -۵/۶۷۹ | فاصله از جاده |
| -۲/۳۴ | فاصله از چشمه‌ها |
| ۱/۱۹۹ | فاصله از روستاها |

معادله رگرسیونی پیش‌بینی احتمال وقوع تخلف غیرمجاز

دام در داخل پارک ملی گلستان، حاصل از مدل‌سازی

رگرسیون لجستیک با استفاده از متغیرهای مستقل فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و انسانی به صورت زیر به دست آمد که در آن As جهت، Dem ارتفاع، Dis_P فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی، Dis_Ri فاصله از رودخانه‌ها، Dis_R فاصله از جاده‌ها، Dis_Sp فاصله از چشمه‌ها، Dis_V فاصله از روستاها، NDVI شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، Rug ضریب زبری و sl جهت شیب است.

جدول ۳ ضرایب حاصل از اجرای رگرسیون لجستیک را برای متغیرهای مستقل نشان می‌دهد.

معادله رگرسیونی پیش‌بینی احتمال وقوع تخلف غیرمجاز دام در داخل پارک ملی گلستان، حاصل از مدل‌سازی رگرسیون لجستیک با استفاده از متغیرهای مستقل فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و انسانی به صورت زیر به دست آمد که در آن As جهت، Dem ارتفاع، Dis_P فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی، Dis_Ri فاصله از رودخانه‌ها، Dis_R فاصله از جاده‌ها، Dis_Sp فاصله از چشمه‌ها، Dis_V فاصله از روستاها، NDVI شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، Rug ضریب زبری و sl جهت شیب است.

مدل با حذف تک به تک هر یک از متغیرهای مستقل آن‌ها و با استفاده از آماره‌های ROC و Pseudo R² مورد سنجش قرار گرفت (جدول ۵ و شکل ۱۴).

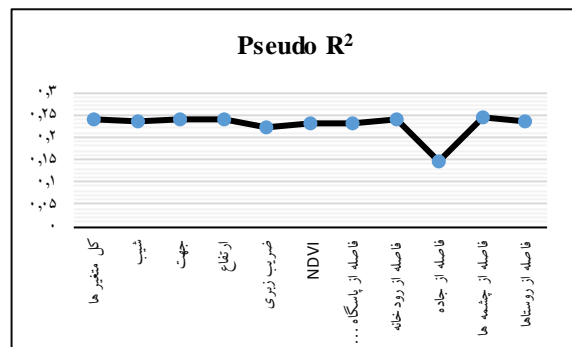
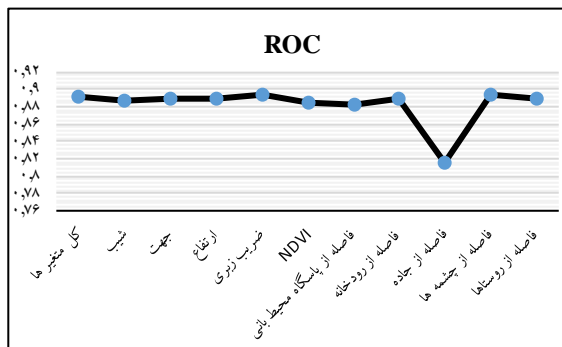
ارزیابی عملکرد مدل: جدول ۴ شاخص‌های آماری حاصل برای ارزیابی مدل را نشان می‌دهد. مقدار ROC به دست آمده در این مطالعه، نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالا بین متغیر مستقل و وابسته است. در ادامه حساسیت

جدول ۴- شاخص‌های آماری به دست آمده برای ارزیابی اجرای مدل

| شاخص آماری | مقدار |
|-----------------------|-----------|
| Pseudo R ² | ۰/۲۴۰۲ |
| Chi-square | ۸۴۹۳/۸۴۴۷ |
| ROC | ۰/۸۹۱۶ |

جدول ۵- ارزیابی حساسیت متغیرها با حذف تک به تک

| متغیرهای حذف شده از مدل | مقادیر ROC | مقادیر Pseudo R ² |
|---------------------------|------------|------------------------------|
| کل متغیرها | ۰/۸۹۱۶ | ۰/۲۴۰۲ |
| شیب | ۰/۸۸۶۴ | ۰/۲۳۵۸ |
| جهت | ۰/۸۹۰۲ | ۰/۲۴۰۹ |
| ارتفاع | ۰/۸۸۸۷ | ۰/۲۴۱۳ |
| ضریب زبری | ۰/۸۹۴۴ | ۰/۲۲۳۶ |
| NDVI | ۰/۸۸۳۹ | ۰/۲۳۱۸ |
| فاصله از پاسگاه محیط‌بانی | ۰/۸۸۲۳ | ۰/۲۳۰۸ |
| فاصله از رودخانه | ۰/۸۹۰۴ | ۰/۲۴۱۳ |
| فاصله از جاده | ۰/۸۱۴۲ | ۰/۱۴۷۱ |
| فاصله از چشمه‌ها | ۰/۸۹۳ | ۰/۲۴۴۲ |
| فاصله از روستاها | ۰/۸۹ | ۰/۲۴ |



شکل ۱۴- حساسیت سنجی حذف متغیرهای مستقل با استفاده از شاخص‌های ROC و Pseudo R²

داخل پارک ملی گلستان، ضرایب لایه‌های شیب، فاصله از جاده، فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی، فاصله از منابع آبی

بر اساس نتایج حاصل از اجرای مدل و معادله رگرسیونی پیش‌بینی احتمال وقوع تخلف تعلیف غیرمجاز دام در

بحث

مدل رگرسیون لجستیک با ده متغیر مستقل برای ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع تخلفات تعلیف غیرمجاز دام در پارک ملی گلستان اجرا گردید. گرچه جاده‌ها یک عنصر حیاتی در توسعه اقتصادی انسان و جامعه هستند، باین‌حال طی سالیان اخیر، در نتیجه رشد جمعیت جوامع محلی ساکن در پیرامون پارک ملی گلستان و افزایش محسوس حضور گردشگران در منطقه و ایجاد زیر ساخت‌های گردشگری در روستاهای حاشیه پارک ملی گلستان همچون تنگراه، زاو بالا و پایین، قوشه چشمه بالا و پایین، کندس کوه و توتلی تمک، احداث جاده، بهسازی و آسفالت نمودن برخی مسیرها جزو مطالبات عمومی جوامع پیرامونی قرار گرفته است که انجام این قبیل توسعه‌ها، منجر به افزایش سهولت دسترسی به پارک ملی گلستان برای گردشگران، جوامع محلی و همچنین متخلفین گردیده است. علاوه بر این، پیامدهای متعدد، متنوع و عمدتاً منفی برای تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم به‌واسطه حضور جاده‌ها ایجاد می‌شود. این تأثیرات شامل تخریب زیستگاه، تکه‌تکه‌شدن جمعیت حیات‌وحش و پویایی آنها است. دیگر تأثیرات مستقیم جاده‌ها، از طریق برخورد با حیات‌وحش و تأثیرات ثانویه، از طریق افزایش دسترسی مردم به منابع طبیعی است که در گذشته احتمالاً تا حد زیادی غیرقابل دسترس بوده‌اند (Collinson *et al.*, 2019). طی سالیان اخیر نیز هشدارهای متعددی در مورد خطرات زیست‌محیطی ایجاد جاده‌ها از جمله تسهیل فعالیت‌هایی مانند شکار غیرقانونی داده شده است (Laurance *et al.*, 2014). علی‌رغم وجود انبوه تأثیرات نامطلوب جاده‌ها در مناطق حفاظت شده، به طور معمول برنامه‌ریزی‌ها بدون ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مستقل و بدون در نظر گرفتن جدی پیامدهای اکولوژیکی بلندمدت انجام می‌شود و ملاحظات اقتصادی تقریباً همیشه بر نگرانی‌های محیط زیستی غلبه دارد (Caro, 2015).

نقشه پیش‌بینی وقوع تخلف چرای غیرمجاز دام در پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک، به طور گویا و محسوس احتمال بیشینه وقوع تخلف را در بخش‌های غربی، شمال غربی و جنوب غربی پارک ملی گلستان و در حوزه‌های استحفاظی پاسگاه‌های محیط‌بانی،

(رودخانه و چشمه) منفی به‌دست‌آمده است. در واقع ضرایب منفی عدم همبستگی را نشان نمی‌دهد، بلکه بیانگر رابطه معکوس متغیر وابسته (چرای دام) با متغیرهای مستقل است. به عبارتی با افزایش فاصله از متغیرهای دارای ضریب منفی و افزایش مقادیر شیب، احتمال وقوع جرم کاهش می‌یابد. ارتباط وقوع تخلف تعلیف غیرمجاز دام، با متغیرهای مستقل جهت شیب، ارتفاع، زبری، NDVI و فاصله از روستا مثبت است. در مجموع بر اساس نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک، مؤثرترین عامل در احتمال وقوع تخلف، لایه فاصله از جاده با ضریب $-5/679$ است. ارتفاع با ضریب $4/192$ ، زبری با ضریب $4/051$ ، فاصله از چشمه‌ها با ضریب -2.34 در درجات بعدی اهمیت قرار دارند. عامل جهت با ضریب $0/015$ به‌عنوان کم‌اثرترین متغیر مستقل تعیین گردیده است.

در خصوص شاخص‌های آماری حاصل از اجرای مدل می‌توان دریافت که باتوجه‌به اینکه مقدار شاخص Pseudo R^2 برابر $0/2402$ گردیده و بزرگ‌تر از حد آستانه می‌باشد، این مدل برازش قابل‌قبولی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص ROC برابر $0/8916$ است، این شاخص، به‌عنوان مهم‌ترین شاخص ارزیابی، نشان‌دهنده دقت بسیار خوب و بالای اجرای مدل و وجود رابطه قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک می‌باشد. مقدار شاخص Chi Square نیز برابر $8493/8447$ به‌دست‌آمده است که باتوجه‌به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین شده است در نتیجه فرض صفر بودن تمام ضرایب نیز رد می‌گردد.

حذف تک به تک متغیرهای مستقل و انجام فرایند مقایسه‌ای حساسیت سنجی برای هر یک از متغیرها با استفاده از شاخص‌های Pseudo R^2 و ROC نشان داد که در هر دو فرایند صورت‌گرفته و به‌صورت مشترک، متغیر مستقل فاصله از جاده، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر شاخص‌ها بوده‌اند. به‌نحوی که با حذف متغیرهای فوق، کاهش مقادیر بالایی در شاخص‌های به‌دست‌آمده ایجاد می‌گردد.

از جمله کندس کوه، دشت شاد، شارلق، تنگراه، قوشه چشمه، زاو و کویلر را نشان می‌دهد. از طرفی نیز، تقریباً تمام مناطق پیرامونی پارک ملی گلستان که دارای جاده‌های دسترسی هستند، مستعد حضور دامداران غیرمجاز هستند.

گسترش و افزایش حجم وابستگی تأمین محصولات غذایی و کالاهای مصرفی و غیرمصرفی روستاییان به شهرها، تمایل به شهرنشینی و افزایش ارتباط بین شهر و روستا، کمبود تجهیزات آموزشی و بهداشتی در روستاها از عوامل اصلی وابستگی روستاییان به شهرها بوده و به واسطه این عوامل، شاهد رشد بیش‌ازپیش وسایل نقلیه موتوری به‌ویژه خودروهای شخصی در روستاهای حاشیه پارک ملی گلستان هستیم که منجر به ایجاد زیرساخت‌های حمل‌ونقلی به‌خصوص در جاده‌های کمربندی و مرز پارک ملی گلستان شده است. آسفالت شدن و شن‌ریزی جاده‌های مواصلاتی روستای قوشه چشمه به تنگراه و اصلاح مستمر جاده بین مزارع کندس کوه طی ۱۰ سال گذشته، منجر به تجاوز دامداران غیرمجاز به پارک ملی گلستان گردیده است.

از طرفی به علت عدم تعیین حریم برای مناطق چهارگانه سازمان حفاظت محیط‌زیست و تنها اتکا به مرز پیرامونی مناطق حفاظت شده به‌عنوان مرز رسمی ممنوعیت تردد، موجب گردیده است که دامداران غیرمجاز نیز با شناسایی زیستگاه‌های مطلوب حاشیه جاده‌های پیرامونی پارک ملی گلستان، اقدام به ورود به پارک ملی گلستان و چرای غیرمجاز دام نمایند. در موارد بسیار و به‌خصوص در جاده کمربندی پارک ملی گلستان، مشاهده شده است که به‌واسطه اطلاع دامداران متخلف از حضور یا تردد نیروهای حفاظتی پارک ملی گلستان، سریعاً از منطقه خارج شده و خود را به جاده رسانده که در صورت مشاهده شدن توسط نیروهای اجرایی نیز، به علت عدم وجود شواهد و مدارک مستند و کافی از حضور دامدار در داخل پارک، تشکیل پرونده قضایی امکان‌پذیر نباشد.

تحلیل متغیرهای مستقل ارتفاع و زبری که با وضعیت پستی‌وبلندی منطقه ارتباط دارند، رابطه مثبت با وقوع تخلفات چرای غیرمجاز دام را نشان می‌دهند که در خصوص اهمیت متغیر ارتفاع، می‌توان به تغییرات شدید ارتفاع در مرزهای حاشیه پارک ملی گلستان اشاره نمود.

اغلب روستاهای حاشیه پارک ملی گلستان به علت شرایط توپوگرافی طبیعی منطقه در مناطق پست‌تری از مناطق حاشیه‌ای پارک ملی گلستان قرار دارند، به‌طوری که در مناطق تحت چرای شدید و مناطق پیش‌بینی شده توسط مدل، تغییرات ارتفاع بسیار محسوس است. به طور مثال پیرامون جاده کمربندی از روستای تنگراه تا روستاهای زاو و کویلر، تغییرات نسبتاً شدید ارتفاعی (از جاده کمربندی پارک به سمت داخل پارک) در فواصل کوتاه مشاهده می‌گردد. به‌طوری که مناطق مرتفعی همچون دکل ماکروویو تنگراه، قله بیلی کوه، آبشار زاو در فاصله کمی از جاده قرار دارند. این خصوصیت در مورد جاده‌های دیگر پیرامونی پارک همچون مناطق کندس کوه، دشت شاد و دشت نیز صدق می‌کند؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت طبیعی ارتفاعی منطقه و نبود مناطق جایگزین کم‌ارتفاع منجر به افزایش اهمیت این متغیر گردیده است. بر اساس مطالعات Sappington و همکاران (۲۰۰۷)، متغیر زبری محیط با ایجاد خرد اقلیم‌های متنوع، معیار خوبی برای نشان‌دادن ویژگی‌های زیستگاهی است و افزایش زبری سطح زمین موجب افزایش میزان تنوع بالای پوشش گیاهی می‌شود. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مدل می‌توان دریافت که اهمیت این متغیر در داخل پارک ملی گلستان نیز در ایجاد تنوع پوشش گیاهی و خوش‌خوراکی بیشتر علوفه‌ها جهت تغذیه و تمایل به چرای دام نقش مؤثری دارد. از طرفی، زبری بالا با عوارض طبیعی در منطقه ارتباط داشته و این موضوع منجر ایجاد پناهگاه و در نتیجه سخت‌تر شدن مشاهده دام و دامداران متخلف توسط نیروهای اجرایی پارک ملی گلستان می‌گردد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل، علاوه بر متغیرهای ارتفاع و زبری، لایه فاصله از چشمه‌ها نیز با ضریب منفی، به‌عنوان عاملی با اثرگذاری بالا در وقوع پدیده چرای غیرمجاز دام تعیین شده است. در حال حاضر بخش بزرگی از نیاز روزانه دام‌های اهلی چراکننده در مراتع از منابع آب‌های سطحی مانند چشمه‌ها و رودخانه‌ها تأمین می‌شود. با توجه به عدم وجود رودخانه‌های دائمی در داخل و اطراف پارک ملی گلستان و همچنین خشکسالی‌های متعدد سال‌های اخیر، عنصر آب در دسترس به‌عنوان عامل محدودکننده در منطقه

حضور دام و نمایه‌های آن در این مناطق مشاهده گردید؛ بنابراین، می‌توان روش رگرسیون لجستیک را به‌عنوان یک روش مناسب برای پیش‌بینی مناطق مستعد وقوع تخلفات حوزه محیط‌زیست به‌ویژه تعلیف غیرمجاز دام در داخل پارک ملی گلستان معرفی نمود و برنامه‌ریزی‌های دقیق مدیریتی و حفاظتی برای این مناطق تعریف نمود.

پیشنهادهای حفاظتی و مدیریتی:

- باتوجه به نقش بازدارندگی مؤثر پایش مستمر جاده‌های حاشیه پارک ملی گلستان توسط یگان حفاظت، ادامه و افزایش این گشت‌ها توصیه می‌شود.

- بیشتر مطالعات انجام‌گرفته، تنها تأثیرات مستقیم جاده‌ها، به‌ویژه برخورد وسایل نقلیه حیات‌وحش را بررسی نموده‌اند و بیشتر مداخلات توصیه شده مربوط به اکوسیستم یا بازآفرینی فرایند طبیعی و همچنین نظارت بر منطقه است. خلأها و جهت‌گیری‌های آتی تحقیقات می‌بایست با محوریت اقدامات دقیق برای کاهش اثرات جاده‌ها، نظارت بر ترافیک و درک تأثیرات ارتقای جاده‌ها باشد. احداث خاکریز یا حفر گودال در برخی مناطق حاشیه‌ای پارک ملی گلستان جهت جلوگیری از ورود دام اثرگذار است.

- استفاده از تجهیزات و روش‌های نوین حفاظتی شامل هوش مصنوعی، سنجش‌ازدور، دوربین‌های دید در شب، پهپاد، نوسازی تجهیزات و ناوگان موتوری ضرورت دارد.

- احداث پاسگاه‌های محیط‌بانی جدید و فعال‌نمودن کامل پاسگاه‌های نیمه‌فعال تاکید می‌شود.

- بهسازی و نصب تابلوهای هشداردهنده پارک ملی گلستان، به‌ویژه اطلاع‌رسانی در دو طرف ورودی منطقه اهمیت زیادی دارد.

- آموزش و پیگیری گذر از دامداری سنتی به سمت دامداری صنعتی و مدرن از طریق اعطای تسهیلات بانکی کم‌بهره و مشوق‌های مالی.

- آموزش در سطوح مختلف فرهنگی، دینی و اجتماعی، آگاهی‌رسانی و فرهنگ‌سازی درست و متناسب با فرهنگ و آداب و رسوم قومیت‌های مختلف ساکن در حاشیه پارک ملی گلستان و تشریح دلایل اهمیت و جایگاه بین‌المللی ویژه پارک ملی گلستان با استفاده از سخنرانی، برگزاری مراسم‌های محیط‌زیستی، توزیع بروشورهای علمی و

شناخته شده و در حال حاضر نیز عمده منابع تامین آب روستاهای حاشیه پارک ملی گلستان از چشمه‌های موجود در داخل پارک ملی گلستان است.

بر اساس مطالعه Clarke و Stone (۲۰۰۴)، متوسط نیاز روزانه آب برای هر رأس گوسفند و بز ۹-۱۴، گاوگیری ۶۸-۱۳۶ لیتر در روز است که باتوجه‌به اینکه دامداران تمایل به حضور طولانی‌مدت در طول یک روز جهت چرای غیرمجاز دام در داخل پارک را دارند، بر اساس محدودیت آبی و پراکنش کم منابع آبی، وابستگی دام‌های اهلی به چشمه‌ها و مجراهای طبیعی آب در پارک بسیار زیاد بوده و دامداران جهت کاهش صرف انرژی و زمان زیاد در طی مسیر طولانی و افزایش ریسک مشاهده و دستگیری، فاصله نسبی را از منابع آبی جهت رفع نیاز آبی دام‌های خود حفظ می‌نمایند که این موضوع در اهمیت بالای متغیر فاصله از چشمه‌ها کاملاً با شرایط موجود منطقه همخوانی دارد.

علاوه بر تأثیر موارد بحث شده، وجود عواملی مهمی همچون کمبود نیروهای اجرایی محیط‌زیست، نبود پاسگاه‌های حفاظتی در برخی مناطق، عدم فعال‌بودن کامل برخی پاسگاه‌های موجود به‌خصوص پاسگاه‌های محیط‌بانی کندس‌کوه، دشت شاد، قوشه‌چشمه، زاو و کویلر و همچنین کمبود تجهیزات پایشی نیز در تشدید بروز تخلفات چرای غیرمجاز دام بسیار اثرگذار بوده است (Madadi et al., 2021).

تعلیف دام علاوه بر تأثیرات گسترده بر زیستگاه‌ها و حیات‌وحش بر بروز مخاطرات عمدی و غیرعمدی انسانی نیز نقش مؤثری داشته است. در مطالعه پهنه‌بندی مخاطره آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان، عامل حضور دام و دامدار در منطقه به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان تعیین گردیده است (Faramarzi et al., 2014).

علی‌رغم عدم تعدد بالای پرونده‌های قضایی ثبت شده از حیث وقوع تخلف تعلیف غیرمجاز دام و دستگیری دامداران در مناطق قوشه‌چشمه، زاو و کویلر، مدل رگرسیون لجستیک به‌خوبی توانسته است مناطق اطراف و بین پاسگاه‌های پیشگفت را تحت مناطق با بیشینه احتمال وقوع تخلف شناسایی نماید، به‌طوری‌که بر اساس مشاهدات میدانی در حین انجام مطالعه حاضر، به‌دفعات

- Available from:
<https://doi.org/10.1111/saje.12354>.
7. **Collinson, W.J., Davies-Mostert, H.T., Roxburgh, L. and van der Ree, R., 2019.** Status of road ecology research in Africa: Do we understand the impacts of roads, and how to successfully mitigate them? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 494451. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00479>.
 8. **Cozens, P.M., Saville, G. and Hillier, D., 2005.** Crime prevention through environmental design (CPTED): A review and modern bibliography. *Property Management*, 23, 328–356.
 9. **Faramarzi, H., Hosseini, S.M. and Gholamalifard, M., 2014.** Fire hazard zoning in National Golestan Park using logistic regression and GIS. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 3(2), 73-90. doi: 10.22067/geo.v3i2.26733. (In Persian with English abstract).
 10. **Faramarzi, H., Hosseini, S.M., Pourghasemi, H. and Farnaghi, M., 2018.** Evaluation of the Asian highway role on fire Golestan National Park in GIS environment. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(3), 33-48. doi: 10.22069/jwfst.2018.14655.1729. (In Persian with English abstract).
 11. **Farashi, A., Kaboli, M. and Momeni, I., 2010.** Habitat suitability modeling for wild goat *Capra aegagrus* in Kolah Ghazi National Park, Esfahan Province. *Journal of Natural Environment*. 63(1), 63-73. (In Persian with English abstract).
 12. **Gavin, M.C., Solomon, J.N. and Blank, S.G., 2010.** Measuring and monitoring illegal use of natural resources. *Conservation Biology*, 24, 89–100.
 13. **Ghaemi, P. and Ghaemi, R., 2024.** Bibliography of Golestan National Park (Biosphere Reserve and World Natural Heritage). *Vajhegan Sirang*. (In Persian with English abstract).
 14. **Ghasemi, N. and Kalteh, H., 2014.** Investigation of the reasons for illegal hunting and fishing in Mazandaran and Golestan provinces, and presentation of legal ways to reduce violation. *Journal of Environmental Science and Technology*, 1(16), 451-461. (In Persian with English abstract).
 15. **Hong, Y., Connor, T., Luo, H., Bian, X., Duan, Z., Tang, Z. and Zhang, J., 2021.** Spatial utilization and microhabitat selection of the snow leopard (*Panthera uncia*) under different livestock grazing
- تشکیل جلسات تخصصی و عمومی به ویژه با همکاری
 سمن‌های بومی منطقه و استان.
 - تدوین و اجرای برنامه‌های حفاظت مشارکتی با کمک
 جوامع محلی پیرامون پارک ملی گلستان.
 - توانمندسازی دانش‌آموزان، اولیا، معلمان و مدیران
 مدارس شهرها و روستاهای حاشیه پارک ملی گلستان.
 - اصلاح و به‌روزرسانی قانون شکار و صید به‌ویژه
 مجازات‌های جزای نقدی در موارد ۱۰ تا ۱۲ قانون مذکور،
 افزایش جرائم مربوط به خسارت وارده از حیث تعلیف
 غیرمجاز و تخریب زیستگاه و نیز استفاده از ظرفیت‌های
 مجازات‌های جایگزین حبس.
 - به‌کارگیری نیروهای اجرایی و حفاظتی با تحصیلات
 محیط‌زیستی و منابع طبیعی بانگیزه و مستعد در حفاظت
 و حمایت از پارک.
 - ایجاد موانع و بستن جاده‌های فرعی به‌عنوان تکنیک
 بالقوه مؤثر پیشگیری از جرم با کاهش دسترسی دامداران.

منابع

1. **Akhani, H., 2023.** The Illustrated Flora of Golestan National Park Iran. Tehran, Vol. 2. (In Persian with English abstract).
2. **Berk, R.A. and Bleich, J., 2013.** Statistical procedures for forecasting criminal behavior: A comparative assessment. *Forecasting Criminal Behavior: Research Article*.
3. **Boroughani, M. and Pourhashemi, S., 2019.** Susceptibility zoning of dust source areas by data mining methods over Khorasan Razavi Province. *Journal of Environmental Erosion Research*, 9(3), 1-22. (In Persian with English abstract).
4. **Caro, T., 2015.** Roads through national parks: A successful case study. *Tropical Conservation Science*, 8(4), 1009-1016. doi:10.1177/194008291500800411.
5. **Chen, Z. and Song, D., 2023.** Modeling landslide susceptibility based on convolutional neural network coupling with metaheuristic optimization algorithms. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 3384-3416.
6. **Chisadza, C., Clance, M., van der Merwe, F. and Yitbarek, E., 2023.** Ruggedness and child health outcomes: Evidence from Burundi, Cameroon, Ethiopia and Nigeria. *South African Journal of Economics*, 91(4), 498–527.

- Wood and Forest Science and Technology, 22(1), 1-16. (In Persian with English abstract).
26. **Nellemann, C., Henriksen, R., Raxter, P., Ash, N. and Mrema, E., 2014.** The environmental crime crisis: Threats to sustainable development from illegal exploitation and trade in wildlife and forest resources. Available at: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9120>.
 27. **Ratcliffe, J., 2010.** Crime mapping: Spatial and temporal challenges. In: Piquero, A.R. and Weisburd, D. (eds) Handbook of Quantitative Criminology. New York, NY: Springer, 5-24.
 28. **Rija, A.A., 2017.** Spatial pattern of illegal activities and the impact on wildlife populations in protected areas in the Serengeti ecosystem. PhD thesis, University of York.
 29. **Roostaei, S., Mokhtari, D. and Khodaiae, F., 2015.** The application of logistic regression in the zoning of slope instabilities on the mountain roads (case study: Dare Diz Strait). Journal of Natural Environmental Hazards, 4(6), 89-103. doi: 10.22111/jneh.2016.2525. (In Persian with English abstract).
 30. **Rovero, F., Augugliaro, C., Havmøller, R.W., et al., 2020.** Co-occurrence of snow leopard *Panthera uncia*, Siberian ibex *Capra sibirica* and livestock: potential relationships and effects. Oryx, 54(1), 118-124. doi:10.1017/S0030605317001685.
 31. **Saed, N., 2007.** The collection of environmental laws and regulations and all-round excellence of the country. Tehran. (In Persian with English abstract).
 32. **Sappington, J.M., Longshore, K.M. and Thompson, D.B., 2007.** Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: a case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. Journal of Wildlife Management, 71, 1419-1426.
 33. **Seddighi, H. and Ghasemi, A.R., 2023.** Landslide risk modeling using logistic regression model (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). Researches in Earth Sciences, 14(4), 42-60. doi: 10.48308/esrj.2023.104053. (In Persian with English abstract).
 34. **Shirani, K. and Arab Ameri, A.R., 2015.** Landslide hazard zonation using logistic regression method (case study: Dez-e-Oulia basin). Water and Soil Science (Journal of Science and intensities. Earth Interactions, 25, 151–159. doi: 10.1175/EI-D-21-0003.1.
 16. **Jerstad Stensland, V., 2023.** A data-driven problem: Exploring predictive policing with random forest crime mapping in Oslo. Master thesis, Department of Criminology and Sociology of Law, University of Oslo.
 17. **John, F.A.S., Edwards-Jones, G., Gibbons, J.M. and Jones, J.P.G., 2010.** Testing novel methods for assessing rule breaking in conservation. Biological Conservation, 143, 1025–1030.
 18. **Khaledi, S., Derafshi, K., Mehrjunejad, A. and Gharachahi, S., 2012.** Assessment of the landslide effective factors and zonation of this event using logistic regression in the GIS environment: the Taleghan Watershed case study. Journal of Geography and Environmental Hazards. 1(1), 65-82. doi: 10.22067/geo.v1i1.16523. (In Persian with English abstract).
 19. **Lan, S. and Dong, Z., 2022.** Incorporating vegetation type transformation with NDVI time-series to study the vegetation dynamics in Xinjiang. Sustainability, 14, 582.
 20. **Laurance, W.F., Clements, G.R., Sloan, S., O'Connell, C.S., Mueller, N.D., Goosem, M., Venter, O., Edwards, D.P., Phalan, B., Balmford, A., Van Der Ree, R. and Arrea, I.B., 2014.** A global strategy for road building. Nature, 513, 229–232.
 21. **Lee, S. and Pradhan, B., 2007.** Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslide, 4, 33-41.
 22. **Dai, F.C. and Lee, C.F., 2002.** Landslide Characteristics and Slope in Stability Modeling using GIS Lantau Island Hong Kong. Geomorphology, 42: 213-228.
 23. **Lin, H., 2024.** Unraveling crime dynamics: A spatiotemporal analysis of crime hotspots [Doctoral dissertation, Kent State University]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center.
 24. **Milner-Gulland, E.J., 2012.** Interactions between human behavior and ecological systems. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 367, 270-278.
 25. **Mir Deilami, T., Shataei, S. and Kavosi, M.R., 2015.** Forest fire risk zone mapping in the Golestan National Park using regression logistic method. Journal of

40. **Watson, J.E.M., Darling, E.S., Venter, O., Maron, M., Walston, J., Possingham, H.P. and Brooks, T.M., 2016.** Bolder science needed now for protected areas. *Conservation Biology*, 30(2), 243-248. doi:10.1111/cobi.12645.
41. **Watson, J.E.M., Dudley, N., Segan, D.B. and Hockings, M., 2014.** The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515(7525), 67-73. doi:10.1038/nature13947.
42. **Wei, W., Swaisgood, R.R., Dai, Q., Yang, Z., Yuan, S., Owen, M.A., Pilfold, N.W., Yang, X., Gu, X., Zhou, H., Han, H., Zhang, J., Hong, M. and Zhang, Z.J., 2018.** Giant panda distributional and habitat-use shifts in a changing landscape. *Conservation Letters*, 11, e12575. doi: 10.1111/conl.12575.
43. **Weisburd, D.L., Groff, E.R. and Yang, S.M., 2012.** *The Criminology of Place: Street Segments and Our Understanding of the Crime Problem.* Oxford, UK: Oxford University Press.
44. **Wilson-Wilde, L., 2010.** Wildlife crime: a global problem. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 6(3), 221-222.
45. **Ye, C., Chen, Y. and Li, J., 2018.** Investigating the influences of tree coverage and road density on property crime. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7, 101. <https://doi.org/10.3390/ijgi7030101>.
- Technology of Agriculture and Natural Resources), 19(72), 321-334. (In Persian with English abstract).
35. **Shirzad, M., 2011.** Suitability of habitats of Wild Goat in Khojir National Park. Master's thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch. (In Persian with English abstract).
36. **Stone, R.P. and Clarke, S., 2004.** Alternative livestock watering systems. Factsheet No. 04-027. Ministry of Agriculture and Food. Ontario. Canada.
37. **Tian, J., Tian, Y., Cao, Y., Wan, W. and Liu, K., 2023.** Research on rice fields extraction by NDVI difference method based on Sentinel data. *Sensors*, 23, 5876. <https://doi.org/10.3390/s23135876>.
38. **Vahab Zadeh, G.H., Miraki, F.H. and Shirzadi, A., 2017.** Landslide susceptibility mapping with GIS and comparison of logistic regression, frequency ratio and AHP models. Case study: the watershed Kurdistan, Chashmidar. *Application of Geography Information System and Remote Sensing in Planning*, 2, 11-21. (In Persian with English abstract).
39. **Wang, B., Yin, P., Bertozzi, A.L., et al., 2019.** Deep learning for real-time crime forecasting and its ternarization. *Chinese Annals of Mathematics, Series B*, 40(6), 949-966. DOI: 10.1007/s11401-019-0168-y.





Zoning and Identification of Factors Affecting Illegal Livestock Grazing in Golestan National Park Using Logistic Regression

Meysam Madadi¹, HamidReza Rezaei^{*1}, Alireza Mohammadi², Bagher Nezami Balouchi³,
Maryam Shahbazi¹

1* -Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2 -Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Jiroft University, Jiroft, Iran

3- Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of the Environment, Tehran, Iran

Original Article

Received:
2024.09.02

Accepted:
2024.11.22

Keywords:
Golestan National Park,
Illegal Livestock,
Logistic Regression,
Zoning Crimes

Abstract

Introduction: A comprehensive understanding of human behavioral drivers is pivotal for the effective conservation of habitats and protected areas. Environmental crimes encompass a wide spectrum of activities, including habitat destruction, vegetation clearance, deforestation, livestock grazing, hunting and wildlife trafficking, fishing, indiscriminate waste disposal, mining, and more. By discerning patterns in these violations, managers can allocate resources strategically to those groups exhibiting the least compliance with conservation regulations and implement more effective protection strategies. Golestan National Park, given its significant conservation value at both national and regional levels, is subject to a myriad of human-induced violations that inflict substantial physical, ecological, and economic damages. Consequently, precisely identifying areas susceptible to such violations can be a pivotal step in elucidating and enhancing the public's comprehension of the imperative to protect this region. Moreover, it can inform environmental policymakers and political and judicial officials. Owing to the complexity inherent in identifying and locating instances of illegal livestock grazing and the influence of diverse environmental and anthropogenic factors, a logistic regression model was employed to delineate crime zones within the study area. This quantitative approach provides a means to measure the prevalence of offenses and to identify practical solutions for mitigating crime within the designated region.

Materials and Methods: Golestan National Park, Iran's first national park, has been under protection since 1957. To zone and identify the factors influencing illegal livestock grazing in Golestan National Park, a logistic regression model was applied, using the TerrSet IDRISI software. Logistic regression is a suitable model for zoning, providing an equation to predict and explain the changes in a dependent variable based on independent

variables using existing data. This method uses maximum likelihood estimation to find the best factors that fit the model. The regression equation predicting the probability of illegal livestock grazing on the border of Golestan National Park was obtained from logistic regression modeling using independent physiographic, vegetation, and human variables.

Results: Results from the model and the regression equation predicting the probability of illegal livestock grazing within Golestan National Park showed that the most influential factor was the distance from the road, with a coefficient of -5.679. Altitude with a coefficient of 4.192, ruggedness with a coefficient of 4.051, and distance from springs with a coefficient of -2.34 were the next most important factors. The Aspect factor with a coefficient of 0.0015 was determined to be the least influential independent variable. The coefficients of the slope, distance from the road, distance from Ranger's stations, and distance from water sources (rivers and springs) were negative, indicating a decrease in the probability of violations with increasing distance from these variables. The Pseudo R2 index was 0.2402, the ROC index was 0.8916, and the Chi-Square index was 8493.8447, confirming the acceptable fit of the model and indicating a very good and high accuracy of the model execution and a strong relationship with the probability values obtained from the logistic regression model. The removal of each independent variable individually and the comparison of sensitivity analysis using statistical indices confirmed the independent variable of distance from the road as the most important factor affecting the occurrence of illegal grazing.

Discussion: The results of the logistic regression model provided the best fitting function to describe the relationship between the factors influencing illegal livestock grazing and to predict its occurrence. Accordingly, almost all areas around Golestan National Park with access roads are susceptible to the presence of illegal herders. Important factors such as a lack of enough rangers, and a lack of ranger stations, have also been very influential in exacerbating the occurrence of illegal grazing. Moreover, the lack of a defined boundary for the protected areas has caused illegal herders to identify suitable habitats on the margins of the roads around Golestan National Park and enter the park for illegal grazing. Therefore, by identifying the centers of violations and increasing the efficiency of patrolling in these areas, it is possible to significantly prevent the occurrence of illegal grazing and help improve the quality of the ecosystem by restoring damaged areas.