

## پهنه‌بندی مخاطره آتش‌سوزی پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک

حسن فرامرزی - دانشجوی کارشناسی ارشد رشته جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ایران.

سید محسن حسینی<sup>۱</sup> - استاد جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ایران.  
مهدی غلامعلی فرد - استادیار محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۲۷

### چکیده

در پی تغییر اقلیم و گرم شدن زمین، میزان آتش‌سوزی در سطح جنگل‌ها و مراتع در حال افزایش است؛ بنابراین شناسایی مناطق در معرض خطر جهت پیشگیری و اتخاذ تدابیر لازم، امری ضروری است. این مطالعه با هدف شناسایی نقاط بحرانی و حساس به حریق در پارک ملی گلستان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر روی آتش‌سوزی شامل شیب، جهت، ارتفاع، کاربری، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، فاصله از جاده و روستا، حضور گردشگر، شکارچی و دامدار، دما و رطوبت انجام شد. نقشه واقعیت آتش نیز از آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در ۳۰ سال اخیر تهیه گردید. برای بررسی صحت مدل‌سازی، ارزیابی و حساسیت‌سنجی متغیرها از روش ROC و  $Pseudo-R^2$  استفاده شد و میزان آن‌ها برای داده‌ها با سری کامل به ترتیب برابر  $0/9267$  و  $0/3133$  برآورد گردید. بر اساس حساسیت‌سنجی مدل به حذف متغیرهای مستقل، تنها پارامتر کاربری به‌عنوان متغیر بی‌معنا مشخص گردید و متغیرهای حضور دامدار، دما و رطوبت دارای اهمیت بیشتری بودند. نقشه خطر به‌دست‌آمده با آتش‌سوزی ۳۰۰۰ هکتاری منطقه شارلق در شهریور ماه سال ۱۳۹۲ انطباق داشت. با وجود صحت بالای نقشه مخاطره آتش به‌دست‌آمده، می‌تواند برای پیشگیری آتش قبل از وقوع و مدیریت این بحران مورد استفاده قرارگیرد.

**کلیدواژه‌ها:** خطر آتش‌سوزی، رگرسیون لجستیک، مدل‌سازی، مدیریت بحران، پارک ملی گلستان.

## ۱. مقدمه

آتش‌سوزی گسترده در جنگل از مصادیق بحران‌های طبیعی بوده (حسینعلی، ۱۳۸۴) و در پی تغییر اقلیم و گرم شدن زمین، میزان آتش‌سوزی در سطح جنگل‌ها در حال افزایش است (عزیزی و یوسفی، ۱۳۸۴). لذا این پدیده یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب شده و خسارات جبران‌ناپذیری به بار می‌آورد (مارزاس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۷). برخی از این خسارات شامل تغییر کاربری اراضی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، برهم زدن ساختار جنگل و اتلاف مواد غذایی موجود در بخش‌های اکوسیستم ناشی از سوختن لایه گیاهی و لاشبرگ است (واکالیس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۸۹؛ الکساندریدس<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۱؛ بخشنده سواد رودباری و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس گزارش فائو<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) میانگین سالیانه آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان دو میلیون هکتار برآورد شده است. آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نه تنها از دیدگاه زیست‌محیطی، بلکه از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و امنیتی نیز یکی از اصیل‌ترین موضوعات و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است (سیلوامرینو و گنزال<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰: ۶۷). یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل آتش‌سوزی‌های جنگل، شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است؛ زیرا عدم شناخت کافی این نقاط باعث وقوع و گسترش آتش در جنگل، تأخیر در مهار آن و وارد آمدن صدمه به حیات جانوران و گیاهان جنگل خواهد شد (جیسوال<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۱). لذا تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی (مناطق بحرانی آتش‌سوزی) اهمیت بسزایی در کاهش تعداد دفعات آتش‌سوزی و جلوگیری از تخریب جنگل‌های منطقه داشته (دانگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۶۹) و به مدیران جنگل برای پیشگیری آتش قبل از وقوع آن کمک می‌کند تا با انجام مراقبت‌های ویژه در مناطق بحرانی، از وقوع آتش‌سوزی‌های احتمالی جلوگیری کنند. بر اساس مطالعه اترک‌چالی (۱۳۷۹) میانگین آتش‌سوزی جنگل در کشور ۷۰۰۰ هکتار است و دوره بازگشت آتش در جنگل‌های گلستان ۵ تا ۷ سال است؛ بنابراین تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی با دقت بالا و برنامه‌ریزی جهت پیشگیری و مدیریت بحران لازم است. در تهیه نقشه‌های مخاطره آتش سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار پایه‌ای برای مدیریت فضایی داده‌ها به کار گرفته می‌شود. در بسیاری از مطالعات به استفاده از GIS برای مشخص کردن نقاط حساس و بحرانی پرداخته‌اند و تکنیک‌های احتمالی را به‌کاربرده‌اند. اکبری و همکاران (۱۳۸۶: ۱۱۵۱) با استفاده از ۳ عامل شیب، جهت و شاخص متفاوت پوشش گیاهی

1 Marozas

2 Vakalis

3 Alexandridis

4 Food and Agriculture Organization (FAO)

5 Silvia Merino &amp; Gonzale

6 Jaiswal

7 Dong

(NDVI)<sup>۱</sup> به ارائه مدلی ساده و سریع با کمک روش فازی به‌منظور تهیه نقشه آتش‌سوزی در نواحی جنگلی پرداختند. بدین منظور با فرموله کردن عوامل فوق و اعمال آن بر روی تصویر، مناطق با خطر آتش‌سوزی مشخص شد و نقشه به‌دست‌آمده از خطر آتش‌سوزی را با استفاده از داده‌های لندست مورد آزمون قراردادند. محمدی و همکاران (۱۳۸۸: ۵۶۹) با انجام عملیات میدانی و با در نظر گرفتن معیارهای پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی، انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها و استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اقدام به تهیه نقشه مناطق حساس به آتش‌سوزی در جنگل‌های پاره نمودند و نشان دادند که نقشه به‌دست‌آمده تطابق زیادی با مکان‌های واقعی آتش گرفته داشته است. در مطالعه‌ای که توسط ژانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰: ۳۸۶) در مراتع مغولستان و چین انجام شد، با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و با در نظر گرفتن پارامترهایی از جمله توپوگرافی، فاصله از جاده‌ها، راه‌آهن و روستاها، رطوبت نسبی، بارش و دما به تهیه مدل پیش‌بینی احتمال احتراق و بررسی همبستگی آن با این پارامترها پرداختند. در انتها نقشه خطر حریق با ۵ طبقه  $<0/2, 0/20-0/4, 0/4-0/6, 0/6-0/8, 0/8-0/10$  و  $>0/8$  به دست آمد و مشخص گردید که مدل با دما و ارتفاع همبستگی مثبت و با فاصله از جاده‌ها، راه‌آهن و روستاها، رطوبت نسبی و بارش همبستگی منفی دارد. در تحقیقی در اسپانیا نیتو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲: ۳۵) به بررسی وقوع آتش‌سوزی ناشی از رعد و برق طی یک دوره ۳ ساله از سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۴ با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداختند. در این مطالعه پارامترهایی از جمله صاعقه، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی مد نظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که صاعقه مهم‌ترین عامل آتش‌سوزی در این منطقه در این دوره بوده است و مدل خطر با مقدار ROC، ۰/۷ در این مدل به دست آمد که نشان‌دهنده عملکرد خوب این مدل بود.

پارک ملی گلستان نخستین پارکی است که در ایران عنوان پارک ملی را به خود اختصاص داده است و یک هشتم گونه‌های گیاهی، یک سوم گونه‌های پرندگان و بیش از ۵۰ درصد از گونه‌های پستانداران کشور در این پارک زندگی می‌کنند (حسن‌زاده کیابی و همکاران، ۱۳۷۲). این پارک به دلیل دارا بودن ویژگی خاص پوشش گیاهی و قرار گرفتن بخش عمده آن در مسیر بادهای ناشی از برخورد دو جبهه هوای مرطوب و خشک (شکری و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۷۳) مستعد آتش‌سوزی است و تنها در سال شهریور ۱۳۹۲، ۳۰۰۰ هکتار از این پارک بر اثر آتش‌سوزی آسیب دید. این مطالعه به مدل‌سازی و شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار بر روی آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداخته است.

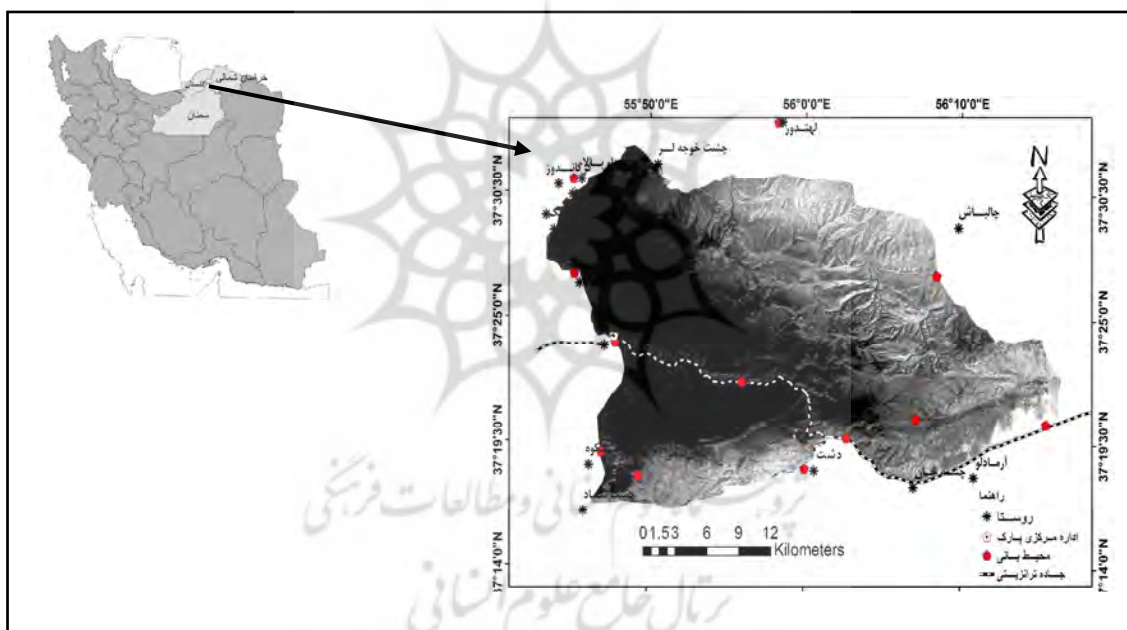
1 Normalized Difference Vegetation Index

2 Zhang

3 Neito

## ۲. منطقه مورد مطالعه

پارک ملی گلستان در شمال شرقی ایران و شرق گلستان، شمال غربی استان خراسان و شمال استان سمنان در حد فاصل  $37^{\circ}17'43''$  تا  $37^{\circ}31'35''$  عرض شمالی و  $55^{\circ}43'25''$  تا  $56^{\circ}17'48''$  طول شرقی قرار گرفته است. مساحت پارک ۹۱۸۹۵ هکتار و محیط آن ۱۹۸ کیلومتر است. جاده ترانزیتی، معروف به جاده آسیایی که شمال و مرکز ایران را به شمال شرقی ایران وصل می‌کند، به طول ۳۵ کیلومتر از تنگه راه تا سه راهی دشت از درون پارک و از آنجا به بعد تا میرزابابیلو در حد جنوبی پارک می‌گذرد (مجنونیان و همکاران، ۱۳۷۸). روستاهای متعددی شامل تنگه راه، ترجنلی، قوچ چشمه، زاو، تمک، کندسکو و دشت شاد در غرب پارک، دشت، چشمه خان و آرمادلو در جنوب و رباطقره بیل در شرق و لهندور، یل چشمه و بهکده در شمال پارک دیده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت پارک ملی گلستان

## ۳. مواد و روش‌ها

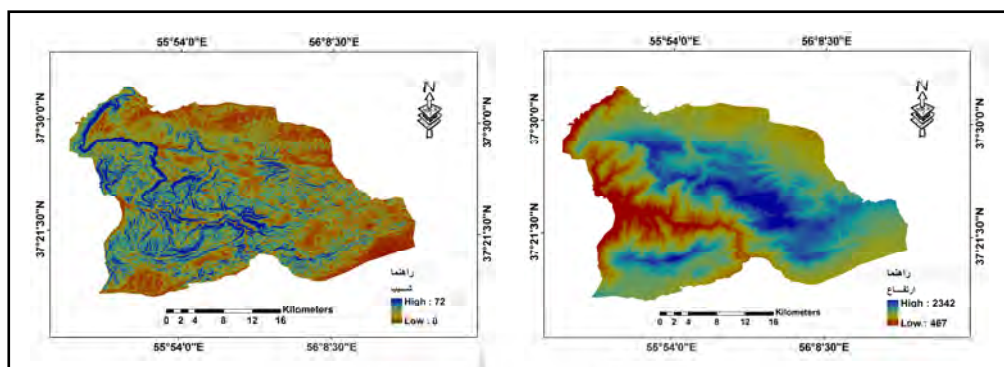
در این پژوهش ابتدا پارامترها و نحوه تأثیرگذار آن‌ها بر روی آتش‌سوزی مشخص شد و اطلاعات مربوط به آن‌ها از سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه و آماربرداری در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید (جدول ۱).

## جدول ۱ پارمترها و نحوی تأثیر‌گذاری و دستیابی به آنها

منبع تهیه	پارامتر	ردیف
سازمان محیط زیست	چگونگی تأثیر بر روی آتش‌سوزی	
	با افزایش ارتفاع خطر آتش‌سوزی کم می‌شود (ویلان <sup>۱</sup> ، ۱۹۹۵).	۱
	با افزایش شیب خطر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (ویلان، ۱۹۹۵).	۲
	جهت‌های که نور خورشید بیشتری دریافت می‌کنند شدت آتش‌سوزی بیشتر خواهد بود (فرانکلین <sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۳۳۱).	۳
سازمان هواشناسی کشور	افزایش دما باعث افزایش خطر آتش‌سوزی می‌شود (بالزتر <sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).	۴
	رطوبت بر روی سرعت، جرقه و شروع آتش‌سوزی تأثیرگذار است (تانسکانن <sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۱۰).	۵
ماهواره MODIS (۲۰۱۱)	در مناطقی که شاخص خشک آن بیشتر است یا به عبارتی رطوبت سوخت کمتر باشد خطر آتش‌سوزی بالاتر می‌رود (چویکو <sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۲۲).	۶
سازمان محیط زیست	انسان‌ها باعث افزایش فراوانی و پراکنش آتش‌سوزی در طول حمل و نقل خود می‌شود (کیلی و فودرینگام <sup>۶</sup> ، ۲۰۰۳: ۲۱۸؛ استنسا <sup>۷</sup> ، ۲۰۰۵: ۲۱۳) و راه‌ها باعث دسترسی به مناطق می‌شود و خطر آتش‌سوزی را بالا می‌برد (سیفارد <sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۶۰۲).	۷
سازمان محیط زیست	شکارچی و دامدار می‌تواند به صورت عملی و غیر عملی باعث آتش‌سوزی در مناطق جنگلی شود (باکیرکی <sup>۹</sup> ، ۲۰۱۰: ۱۵).	۸
سازمان محیط زیست	گسترش مناطق مسکونی باعث افزایش آتش‌سوزی می‌شود (رونلد و کینگ <sup>۱۰</sup> ، ۲۰۰۱: ۲۰۹؛ یواس‌دی‌ای و یواس‌دی‌آی <sup>۱۱</sup> ، ۲۰۰۱: ۷۵۱).	۹
سازمان محیط زیست	گردشگرها باعث افزایش آتش‌سوزی می‌شود (رهبر، ۱۳۷۹).	۱۰
سازمان نقشه‌برداری کشور	نقشه‌ی کاربری بر اساس نوع پوشش یا کاربری تأثیرگذار است (کانتاریلو <sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۱۱۲).	۱۱

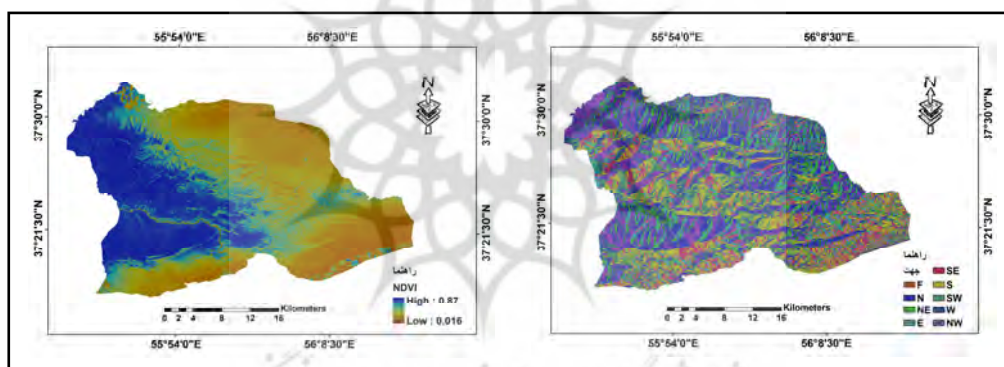
- 1 Whelan
- 2 Franklin
- 3 Balzter
- 4 Tanskanen
- 5 Chuvieco
- 6 keeley & Fotheringham
- 7 Stephensa
- 8 Syphard
- 9 Bakirci
- 10 Rundel & King
- 11 USDI & USDA
- 12 Cantarello

سپس پارامترهای تأثیرگذار در نرم‌افزار Arc GIS و IDRISI آماده‌سازی شدند. نقشه‌های طبقات ارتفاع با مقدار ۴۶۷ تا ۲۳۴۲ متر از سطح دریا، شیب با مقدار صفر تا ۷۲ درجه و جهت با ۹ طبقه از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه آماده شدند (شکل ۲، ۳، ۴). نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی نرمال شده از ماهواره MODIS در سال ۲۰۱۱ تهیه گردید (دنکابایل<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴) (شکل ۵).



شکل ۳ نقشه شیب

شکل ۲ نقشه ارتفاع از سطح دریا



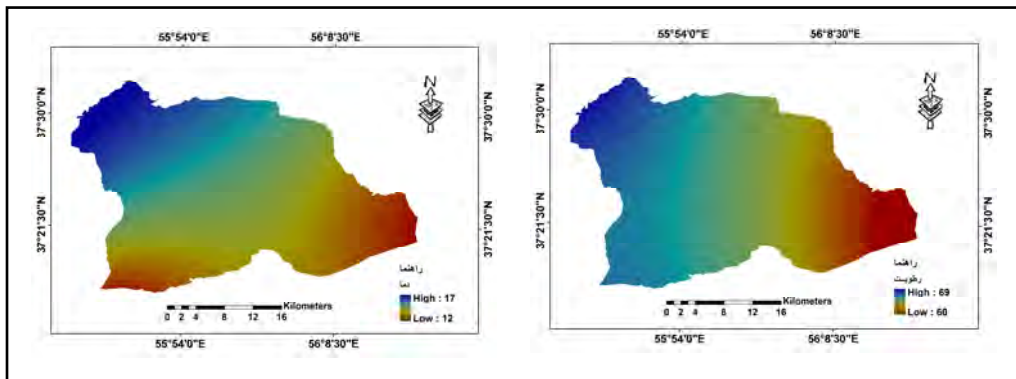
شکل ۵ نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده

شکل ۴ نقشه جهت

نقشه‌های هم‌رطوبت و هم‌دما نیز از درون‌یابی داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۰ ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و اقلیم‌شناسی اطراف پارک بر اساس وزندهی بر مبنای عکس فاصله (IDW)<sup>۲</sup> بدست آمدند (شکل ۶، ۷). با توجه با تأثیر حضور شکارچی و دامدار بر روی آتش‌سوزی‌های پارک فاصله مستقیم از محل دستگیری شکارچیان و دامداران متخلف پارک در سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۶ به عنوان احتمال حضور بیشتر در این مناطق تهیه گردید (شکل ۸، ۹).

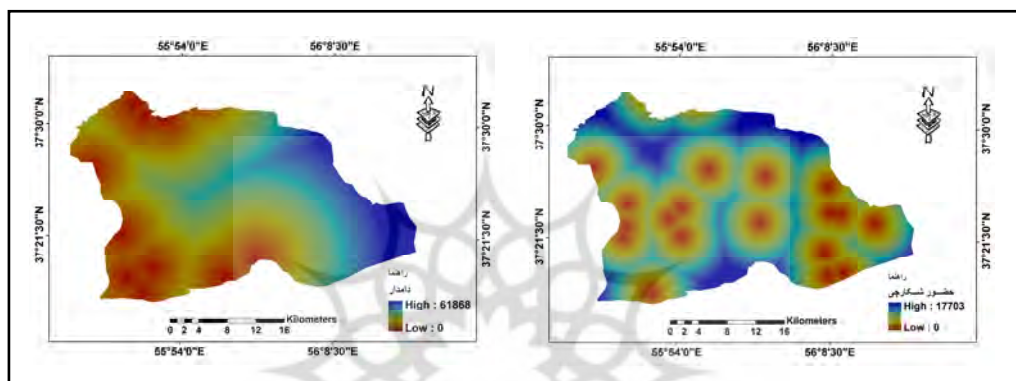
1 Thenkabail

2 Inverse Distance Weighted



شکل ۶ نقشه هم‌رطوبت

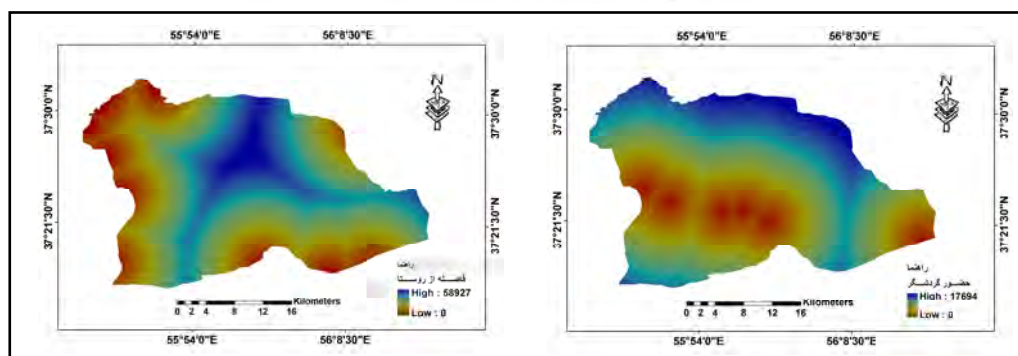
شکل ۷ نقشه هم‌دما

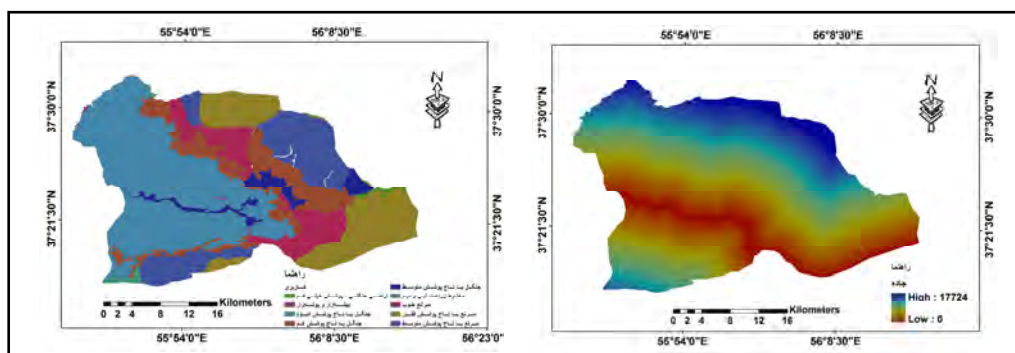


شکل ۸ نقشه حضور شکارچی

شکل ۹ نقشه حضور دامدار

همچنین از محل کمپینگ‌های پارک به عنوان مکان‌های حضور گردشگر، روستاهای اطراف پارک و جاده ترانزیتی عبوری از داخل پارک فاصله مستقیم بدست آمد (شکل ۱۰، ۱۱، ۱۲). در منطقه مورد مطالعه کاربری‌های مختلف شامل جنگل با تاج پوشش انبوه، جنگل با تاج پوشش کم، جنگل با تاج پوشش متوسط، اراضی جنگلی با پوشش خیلی کم، مرتع خوب، مرتع با تاج پوشش متوسط، بیشه‌زار و بوته‌زار و اراضی کشاورزی وجود دارد (شکل ۱۳).

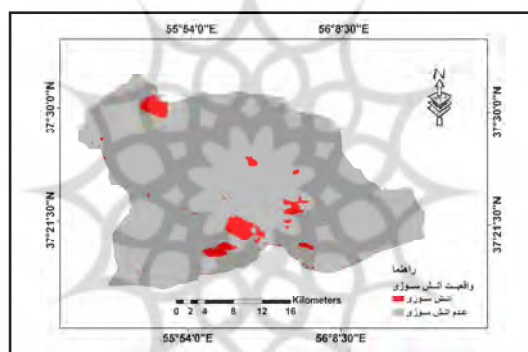




شکل ۱۲ نقشه فاصله از جاده

شکل ۱۳ نقشه کاربری

محدوده‌ی آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در طول ۳۰ سال اخیر نیز با توجه به تاریخچه‌ی ثبت شده توسط اداره مرکزی پارک، اطلاعات محیط‌بانان و آثار به جای مانده از آتش‌سوزی‌ها با استفاده از GPS مشخص گردید و نقشه‌ی بولین آتش در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ نقشه واقعیت آتش‌سوزی

پس از آماده‌سازی پارامترها با استفاده از نرم‌افزار IDRISI و روش رگرسیون لجستیک برای تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی اقدام گردید. رگرسیون لجستیک به صورت رگرسیون دوجمله‌ای محاسبه‌ای اجرا می‌شود که در آن متغیرهای وابسته موجود در طبیعت به صورت دودویی، وارد می‌شوند (الدریچ و فورست، ۱۹۸۴) و از رابطه‌ی ۱ بدست می‌آید.

$$p(y = 1|X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن P احتمال ۱ بودن متغیر وابسته، X متغیرهای مستقل و B مقدار

ثابت برآوردی می‌باشد. مزایای استفاده از مدل رگرسیون لجستیک علاوه بر مدل‌سازی مشاهده‌ها، امکان پیش‌بینی احتمال تعلق هر فرد به هر یک از سطوح متغیر وابسته و امکان محاسبه‌ی مستقیم نسبت شانس



متغیرها با استفاده از ضرایب مدل است (جوبسون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲) و همچنین نسبت به سایر تکنیک‌های آماری چندمتغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی، متغیر وابسته می‌تواند تنها دو متغیر داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است (لی و دای<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶: ۶۶۱). مدل بدست آمده با استفاده از درصدی از نقاط برگرفته‌شده از نقشه‌ی آتش‌سوزی‌های رخ داده در طبیعت به روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک یا طبقه‌بندی شده به صورت ارائه آمارهای مشخصه عامل نسبی ROC و مشخصه نسبی اجرایی Pseudo-R<sup>2</sup> ارزیابی می‌شود (کلارک و هوسکینگ<sup>۳</sup>، ۱۹۸۶). آماره ROC یک عامل نسبی است که برای ارزیابی صحت یک مدل‌سازی موقعیت وقوع از یک کلاس به وسیله‌ی مقایسه کردن با یک تصویر مناسب و عکس‌های بولین که نشان می‌دهد کجاها دقیقاً اتفاق افتاده است، انجام می‌گیرد و درست‌نمایی آن را در کلاس مشخص می‌کند (روسیتزر و لوزا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). این آماره به شکل نموداری که در آن نسبت پیکسل‌های که توسط مدل به درستی تغییر پیش‌بینی شده‌اند (True Positive) در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که به نادرست تغییر پیش‌بینی شده‌اند (False Positive)، ترسیم می‌گردد (گیل‌پونتوس و اسپیندر<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱: ۲۳۹).

مشخصه نسبی اجرایی Pseudo-R<sup>2</sup> بر مبنای قاعده نسبت احتمال، در آزمون نیکویی برازش رگرسیون لجستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر خلاف R<sup>2</sup> در رگرسیون معمولی، Pseudo-R<sup>2</sup> بیانگر نسبت واریانس تبیین شده توسط مدل نیست بلکه این شاخص میزان وابستگی میان داده‌های تجربی و خروجی مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد. از این رو مقدار آن خیلی پایین‌تر از R<sup>2</sup> است. Pseudo-R<sup>2</sup> برابر یک بیانگر برازش کامل و برابر صفر به معنای عدم وجود رابطه معنادار بین متغیرهای مستقل و وابسته است (کلارک و هوسکینگ<sup>۳</sup>، ۱۹۸۶). در نهایت حساسیت‌سنجی متغیرها با حذف آن‌ها با استفاده از ROC و Pseudo-R<sup>2</sup> مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۴. بحث و نتایج

معادله رگرسیونی حاصل از این مدل به صورت زیر بدست آمد:

$$\text{Logit (fire)} = 38.792 + 0.05475 * \text{Aspect} + 0.79038 * \text{Tem} - 0.000666 * \text{Camping} + 0.0014 * \text{Elevation} - 0.00037 * \text{Shepherds} + 0.00036 * \text{Hunter} + 0.0081 * \text{Landuse} - 0.7874 * \text{Moisture} + 0.0011 * \text{NDVI} + 0.0004 * \text{Road} - 0.051747 * \text{Slope} - 0.00006 * \text{Village}$$

1 Jobson

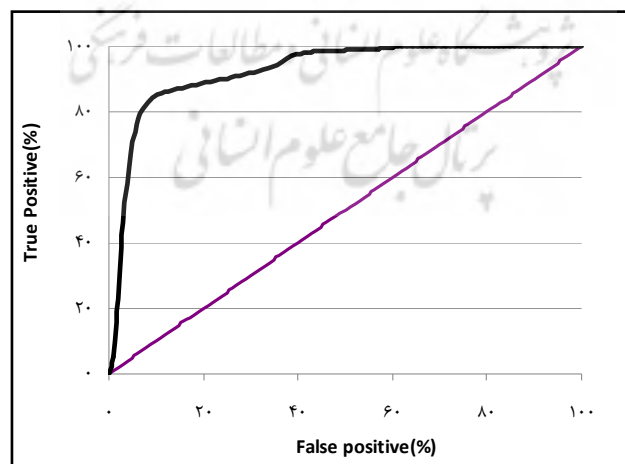
2 Lee & Dai

3 Clark & Hosking

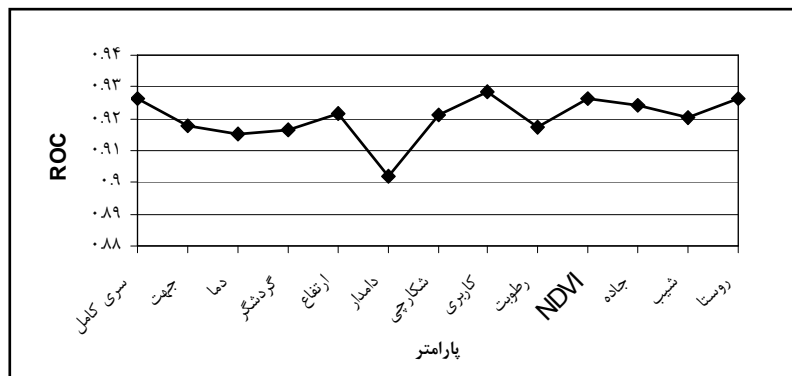
4 Rossiter & Loza

5 Gilpontius & Schneider

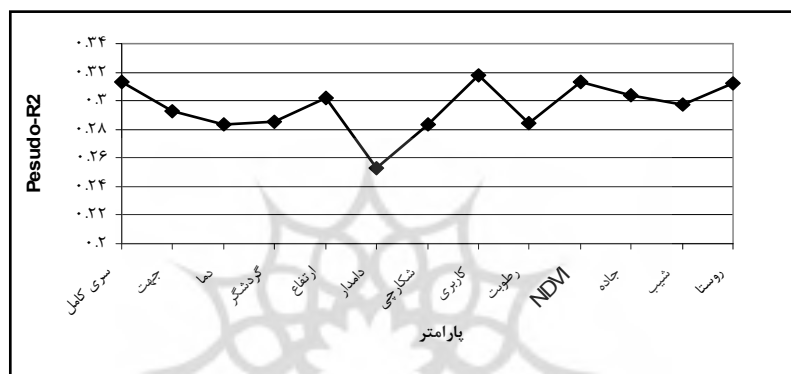
که در آن جهت = Aspect، میانگین دما = Tem، حضور گردشگر = Camping، ارتفاع = Elevation، حضور دامدار = Shepherds، حضور شکارچی = Hunter، کاربری = Land use، رطوبت = Moisture، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی = NDVI، فاصله از جاده اصلی = Road، شیب = Slope، روستاها = Villages می‌باشد. در این مدل پارامترهای جهت، ارتفاع، میانگین دما، فاصله از جاده، حضور شکارچی، کاربری و NDVI همبستگی مثبت و شیب، حضور گردشگر، حضور دامدار، رطوبت و فاصله از روستاها همبستگی منفی با خطر آتش‌سوزی دارند و همچنین تأثیر پارامترها از بیش‌ترین به کمترین تأثیر به ترتیب اولویت شامل پارامترهای دما، رطوبت، جهت، شیب، کاربری، ارتفاع NDVI، حضور گردشگر، فاصله از جاده، حضور شکارچی، حضور دامدار و فاصله از روستاها می‌باشد. مقدار ROC،  $Pseudo-R^2$  و ChiSquare در این مدل به ترتیب برابر ۰/۹۲۶۷، ۰/۳۱۳۳ و ۱۰۲۲۲۷/۳ بدست آمد و منحنی ROC به صورت شکل ۱۵ تهیه گردید. حساسیت‌سنجی متغیرها با استفاده از هر دو عامل به صورت یکسان تنها پارامتر کاربری منطقه را به عنوان پارامتر بی‌معنا معرفی کردند به طوری که نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی مدل با استفاده از ROC حساسیت مدل‌ها را به ترتیب اولویت زیاد به کم شامل پارامترهای حضور دامدار، میانگین دما، حضور شکارچی، رطوبت، شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از روستا، حضور گردشگر، NDVI، جهت و کاربری نشان داد و در حساسیت‌سنجی مدل با استفاده از  $Pseudo-R^2$  به ترتیب اولویت از زیاد به کم شامل پارامترهای حضور دامدار، میانگین دما، رطوبت، حضور شکارچی، گردشگر، جهت، شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از روستا، NDVI و کاربری بدست آمد (شکل ۱۶ و ۱۷).



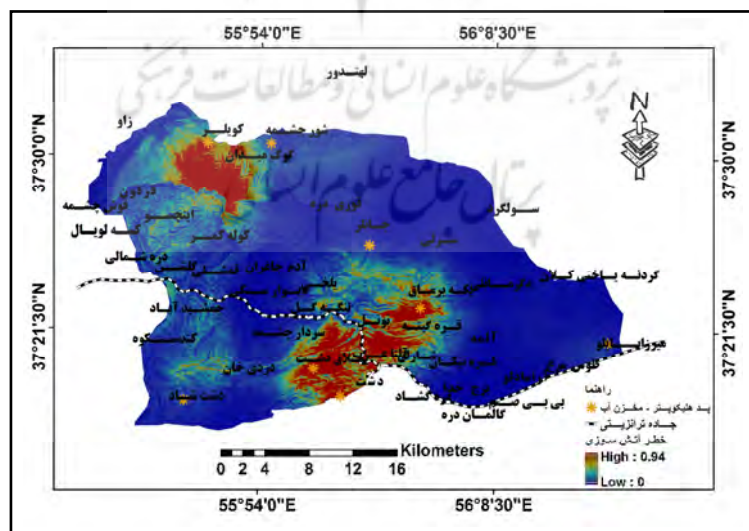
شکل ۱۵ منحنی ROC



شکل ۱۶ نمودار حساسیت‌سنجی با حذف متغیر مستقل با استفاده از ROC

شکل ۱۷ نمودار حساسیت‌سنجی با حذف متغیر با استفاده از Pseudo - R<sup>2</sup>

نقشه خطر آتش‌سوزی نیز با استفاده از روش رگرسیون لجستیک تهیه شد و این نقشه به همراه جاده ترانزیتی و مکان‌های مخازن آب و پدهای هلیکوپتر موجود در پارک ارائه گردید (شکل ۱۸).



شکل ۱۸ نقشه خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک

نتایج حاصل از این مطالعه هم در رابطه به دست آمده و هم نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی متغیرها (شکل ۱۶ و ۱۷) نقش متغیرهای دما و رطوبت را در شکل‌گیری آتش‌سوزی در منطقه مؤثر معرفی می‌کند که نتایج مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۸۶: ۵۶۹) و ارتن و همکاران (۲۰۰۴: ۱۲) نیز بر تأثیر این دو پارامتر تأکید کرده است. حساسیت‌سنجی متغیرها همچنین نقش پارامترهای حضور دامدار و شکارچی از عوامل انسانی بالا نشان می‌دهد. در پژوهش‌های مشابه به نقش مهم این عوامل در شکل‌گیری آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع بیان شده است (جایسوال و همکاران، ۲۰۰۲: ۱؛ دانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۶۹). از آنجا که مقدار آماره ROC زیر ۰/۷ نشان‌دهنده دقت کم، ۰/۷-۰/۹ نشان‌دهنده کاربردی بودن و مقدار بیش از ۰/۹ نشان‌دهنده دقت بالای مدل است (سویتس<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸: ۱۲۸۵) و همچنین مقدار  $Pseudo-R^2$  بزرگ‌تر از ۰/۲ را می‌توان نشانگر یک برازش نسبتاً خوب دانست (کلارک و هوسکینگ<sup>۲</sup>، ۱۹۸۶)؛ بنابراین در تحقیق حاضر مقدار آماره ROC با مقدار ۰/۹۲۶۴ و  $Pseudo-R^2$  با مقدار ۰/۳۱۳۳ نشان‌دهنده دقت بالا و برازش مناسب مدل خطر آتش‌سوزی به دست آمده است که منحنی ROC به دست آمده نیز گویای این مطلب است که این قسمت نیز با نتایج مطالعات فینی و استیفنس<sup>۳</sup> (۲۰۰۲: ۲۶۱) و نیتو و همکاران (۲۰۱۲: ۳۵) مشابه است؛ بنابراین می‌توان روش رگرسیون لجستیک را به عنوان یک روش مناسب برای طبقه‌بندی خطر آتش‌سوزی معرفی نمود که با نتایج بررسی‌های ژانگ و همکاران (۲۰۱۰: ۳۸۶) و لوزانو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۵۳۳) مطابقت دارد؛ بنابراین این مدل می‌تواند در طراحی مدیریت آتش مفید واقع شود و مناطقی که خطر آتش‌سوزی در این مناطق بالاست اقدامات پیشگیرانه صورت گیرد (اماتولی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۲۱؛ پوب و لارسن<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱: ۱). همچنین فهم رفتار آتش‌سوزی جنگل و فاکتورهایی که بوجود آورنده محیط مستعد آتش‌سوزی و متأثر بر رفتار آتش‌سوزی هستند، برای مدیریت آتش‌سوزی در جنگل از اهمیت بالایی برخوردار است (ارتن و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۲) که می‌توان از زوایای مختلف جهت مدیریت مناسب‌تر مورد ارزیابی قرار داد. همان‌طور که شکل ۱۸ نشان می‌دهد خطر احتمال خطر آتش‌سوزی در مناطق دو راهی دشت، یکه‌برماق، ییلاق دشت، بالای تونل، تنگه گل، چشمه سردار، دره زغالی، شارلق، یلخی، جانلر و کویلر تا اینچسو بالاست و خوشبختانه پدهای هلیکوپتر و مخازن آب طراحی شده در پارک در نزدیکی این مناطق است اما باین وجود در مناطق آلتاعرب، بالای تونل و تنگه گل تا یلخی که نقشه خطر به دست آمده خطر آتش‌سوزی را در این مناطق بالا نشان می‌دهد، به دلیل شیب بالا و عدم دسترسی مناسب به این مناطق

1 Swets

1 Finney &amp; Stephens

2 Lozano

3 Amatulli

4 Pewb &amp; Larsen

طراحی مخازن آب می‌تواند تا حدودی به هنگام آتش‌سوزی به اطفای هر چه زودتر حریق کمک کند. همچنین با وجود نقش مسافری و گردشگران عبوری از جاده در شکل‌گیری آتش‌سوزی‌ها در اطراف جاده که باعث انتقال آن با توجه به شرایط مساعد محیطی برای آتش می‌شود، ایجاد آتش برها و آتش بندها و همچنین نصب تابلوهای خطر آتش‌سوزی در کنار این جاده می‌تواند تا حدود زیادی توسعه آتش‌سوزی را در این مناطق کاهش دهد. با وجود نقش دامداران و شکارچیان در آتش‌سوزی‌ها منطقه مورد مطالعه نیز می‌تواند با تبدیل دامداری‌های سنتی به مکانیزه و نیمه مکانیزه با دادن تسهیلات بانکی به دامداران و برخورد جدی دستگاه قضائی و افزایش جرائم برای افراد متخلف، نقش آن‌ها را در آتش‌سوزی منطقه کاهش داد به طوری که مطالعات فو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۱: ۲۰۲) و بروک و ماتچیت<sup>۲</sup> (۲۰۰۶: ۱۴۸) نیز نشان داد که اجرای هر چه بهتر قانون باعث پیشگیری آتش‌سوزی می‌شود همچنین از آنجاکه بیشتر آتش‌سوزی‌های مناطق جنگلی عمدتاً در اثر بی‌توجهی افراد و اشخاص ناآگاه صورت می‌پذیرد (جزیره‌ای، ۱۳۹۰) برپایی کلاس‌های آموزشی و توجیهی برای افراد تأثیرگذار بر روی پارک لازم و ضروری است.

## ۵. نتیجه‌گیری

پارک ملی گلستان یکی از بی‌نظیرترین و مهم‌ترین پارک‌های ملی ایران محسوب می‌شود که هر ساله آتش‌سوزی‌های وسیعی این پارک را تهدید می‌کند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با توجه به موقعیت منطقه، دمای بالا و رطوبت کم شرایط مناسبی را برای آتش‌سوزی فراهم می‌کند و با وجود تردد بالای مسافری، گردشگران، دامداران و شکارچیان غیرمجاز در این پارک خطر آتش‌سوزی در این پارک بالاست. با توجه به صحت بالای مدل به دست آمده حاصل از روش رگرسیون لجستیک در این مطالعه با ارزیابی‌های صورت گرفته، می‌توان گفت این روش، روش مناسبی برای ارزیابی و مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی است و مدل به دست آمده می‌تواند در جهت اقدامات پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با مشخص شدن میزان نقش پارامترهای مؤثرتر در این مطالعه می‌توان برای مدیریت مناسب‌تر این بحران برنامه‌ریزی نمود. به طور خلاصه به مواردی جهت کاهش خطر آتش‌سوزی در پارک اشاره می‌شود:

- ایجاد مخازن آب در مناطقی که احتمال خطر آتش‌سوزی بالاست که می‌توان به مواردی همچون مناطق آلتا عرب، یلخی، بالای تونل، دردی خان و اینچسو اشاره نمود.
- طراحی جاده و مشخص نمودن نزدیک‌ترین مسیرهای مالرو برای دستیابی به مناطقی که خطر آتش‌سوزی بالاست.

1 Fu

2 Brooks & Matchett

- تبدیل دامداری سنتی به مکانیزه و نیمه مکانیزه در روستاهای اطراف پارک ملی گلستان.
- نصب تابلوهای هشدار خطر آتش در مسیرهای حضور مسافران و گردشگران و مناطقی که خطر آتش سوزی بالاست.
- طراحی آتش بر و آتش بند در مناطق حساس به خطر با توجه به نوع خطر آتش سوزی.
- برقراری کلاس‌های آموزشی و توجیهی برای روستاهای اطراف پارک.
- افزایش جرائم مربوط به متخلفان پارک و برخورد هرچه قوی‌تر با آن‌ها.

### کتابنامه

- اترک‌چالی، عبدالناصر. ۱۳۷۹. بررسی اثرات آتش سوزی بر روی تغییرات پوشش گیاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، ۸۵ ص.
- اکبری، داوود، امینی، جلال، سعادت سرشت، محمد، ۱۳۸۶. ارائه‌ی مدلی ساده و سریع برای تهیه‌ی نقشه‌ی ریسک آتش سوزی در نواحی جنگلی، مجموعه‌ی مقالات دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران: ۱۱۵۱-۱۱۵۷.
- بخشنده سوادرودباری، مریم، مروی مهاجر، محمدرضا، ۱۳۹۰. بررسی تغییرات پوشش علفی جنگل بعد از آتش سوزی، مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی در عرصه‌های منابع طبیعی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۴ و ۵ آبان ۱۳۹۰: ۲۷۲ ص.
- حسن‌زاده کیابی، بهرام، زهزاد، بهرام، فرهنگ دره شوری، بیژن، مجنونیان، هنریک، گشتاسب میگوئی، حمید، ۱۳۷۲. پارک ملی گلستان، انتشارات سازمان محیط زیست، چاپ اول: ۲۰۳ صفحه.
- حسینعلی، فرهاد، رجبی، محمدعلی، ۱۳۸۴. شبیه سازی آتش سوزی جنگل با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی، همایش ژئوماتیک ۸۴، ۱۸ اردیبهشت ۸۴: ۱۱ ص.
- جزیره‌ای، محمدحسین، ۱۳۹۰. نگهداشت جنگل، انتشار دانشگاه تهران: ۲۳۱ ص.
- رهبر، داود، ۱۳۷۹. اثرات زیست محیطی صنعت گردشگری، توسعه مدیریت شماره ۱۹: ۴ ص.
- شکری، مریم، صفائیان، نصرت، الله، اترک‌چالی، عبدالناصر، ۱۳۸۱. بررسی پیامد آتش بر پوشش گیاهی تختی ییلاق پارک ملی گلستان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۵ شماره ۲: ۲۸۱-۲۷۳.
- عزیزی، قاسم، یوسفی، یدالله، ۱۳۸۴. گرمباد (بادفون) و آتش سوزی جنگل در استان‌های مازندران و گیلان، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی ۹۲(۷۴۹): ۱۵۴۳۴-۱۵۴۰۷.

محمدی، فریده، شعبانیان، نقی، پور هاشمی، مهدی، فاتحی، پرویز، ۱۳۸۸. تهیه نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاره، فصلنامه‌ی علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۸ (۴): ۵۶۹-۵۸۶.

مجنونیان هنریک، زهزاد، بهرام، کیابی، بهرام، فرهنگ دره‌شوری، بهزاد، گشتاسب میگوئی، حمید، ۱۳۷۸. شناسنامه پارک ملی گلستان ذخیره‌گاه زیست کره، انتشارات سازمان محیط زیست، ۱۲۹ ص.

Akbari, D., Amini J., SadatSeresht, M., 2007. Providing a simple model and quick for fire risk mapping in forested areas, Proceedings of the Second Conference on Natural Disaster Confronting, Tehran University, Tehran, 1151-1157.

Aldrich, J., and Forrest, D., 1984. Linear Probability, Logit and Probit Models. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences 45. London: Sage.

Alexandridis, A., Vakalis, D., Siettos, C.I. and Bafas, G. V., 2008. A cellular automata model for forest fire spread prediction: The case of the wildfire that swept through Spetses Island in 1990. Applied Mathematics and Computation 204, 191-201.

Amatulli Perez-Cabello, D., 2007. Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. Ecological Modelling 200, 321-333.

AtrakChaly, A., 2000. Investigate the effects of fire on vegetation change. MA thesis, University of Mazandaran, 85 pp.

Azizi, Gh., Yusefi, Y., 2005. Sirocco (wind-Von) and forest fires in the Mazandaran and Gilan province, Journal of Geographical Research 92 (749): 15407-15434.

BakhshandeSavadRudbari, M., MarviMohajer, MR., 2011. Changes in herbaceous cover after forest fires, Proceedings of the First International Conference on the areas of natural resources at the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 26-27 October, 2011: 272 p.

Bakirci, M., 2010. Negative Impacts of Forest Fires on Ecological Balance and Environmental. Revija za geografijo - Journal for Geography, 5-1:15-32.

Balzter, H., Gerard, F., George, Ch., Rowland, C., Jupp, T., McCallum, I., Shivdenko, A., Nilsson, S., Sukhinin, A., Ounchin, A., Schmullius, Ch., 2005. Impact of the Arctic Oscillation pattern on interannual forest fire variability in Central Siberia, Geophysica Research Letters, vol. 32:4p.

Brooks, M.L., Matchett, J.R., 2006. Spatial and temporal patterns of wildfires in the Mojave Desert, 1980-2004. Journal of Arid Environments 67, 148-164.

Cantarello, E., Newton A., Hill R., Tejedor -Garavito, N., Williams-linera, G., Lopez-Barrera, F., H.manson R., J.Golicher, D., 2011. Simulating the potential for ecological restoration of dryland forests in Mexico under different disturbance regimes, Ecological Modelling 222, 1112-1128.

Chuvienco, E., Cocero D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., Riva, j., Perez, F., 2004. Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live, fuel

- moisture content in forest fire danger rating, *Remote Sensing of Environment* 92:322–331.
- Clark, W.A., Hosking, P.L., 1986. *Statistical Methods for Geographers*, John Wiley and Sons, New York, 528pp.
- Dong, X.U., Li-min, D., Guo-fan, Sh., Lei, T., Hui, W., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research* 16(3), 169-174.
- Erten, E., Kurgun, V. ve Musaoglu, N., 2004. Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS: A Case Study, XX.th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), July, Istanbul, Turkey, Proceedings, 12-25.
- FAO. 1995. International forest fire news. No 16.
- Franklin, J., McCullough, P., Gray, C., 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In 'Terrain Analysis: Principles and Applications: pp. 331–353.
- Fu, Z.Q., Wang, Y., Wang, C., 2001. Research on the spring fire-risk forecasting model in dry grasslands in Inner Mongolia. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* 12, 202–209.
- Gil Pontius, R., Schneider, L., 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85:239–248.
- HassanZadehKiyabi, B., Zahzad, B., FarhangDareShuri, B., Majnuniyan, H., GashtasbMigui, H., 1993. *Golestan National Park, environmental organizations Publications*, First Edition, 203p.
- HosseinALi, F., Rajabi, M., 2005. Forest fire simulation using GIS, *Geomatic Conference* 84, 8 may 2005: 11 p.
- Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju K.D., Saxena R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4 (1), 1-10.
- Jazirei, MH., 2011. *Forest Conservation*, Tehran University Press: 231 p.
- Jobson, J.D., 1992. *Applied multivariate data analysis, Volumn II: Categorical and multivariate methods*. New York: Springer-Verlag.
- Keeley, JE., Fotheringham, CJ., 2003. Impact of past, present, and future fire regimes on North American Mediterranean shrublands. In 'Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas, Springer-Verlag: NewYork: pp. 218–262.
- Lee, S., Pradhan, B., 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science* 115 (6), 661-672.



- Lozano, F. J., Suárez-seoane, S., Luis, E. D., 2007. Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal Landsat data for fire occurrence probability modelling. *Remote Sensing of Environment* 107, 533 - 544.
- Majnuniyan, H., Zahzad, B., Kiyabi, B., Farhangdareshuri, B., GashtasbMiguiei, H., 1999. Certificate National Park Biosphere Reserve, Environment Publications, 129 p.
- Marozas, v., Racinkas, J., Bartkevicius, E., 2007. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests, *Forest Ecology and Management*, Volume 250, Issues 1–2, 15 October 2007: 47-55.
- Mohamadi, FM., Shabaniyan, N., Purhashemi, M., Fatehi, P., 2009. Risk fire Mapping using GIS and AHP in part of the Pave forest *Journal of Forest and Poplar Iran* 18 (4),569-586.
- Nieto, H., Aguado, I., García, M., & Chuvieco, E., 2012. Lightning-caused fires in Central Spain: Development of a probability model of occurrence for two Spanish regions, *Agricultural and Forest Meteorology* 162-163, 35-43.
- Pewb, K.L., Larsen, C.P.S., 2001. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Management* 140, 1–18.
- Rhbar, D., 2000. Environmental impacts tourism industry, management development 19: 4 p.
- Rossiter, D.G., Loza, A., 2010. Analyzing land cover change with logistic regression in R, Technical Report ITC, Enschede, 71 pp.
- Rundel PW, King JA., 2001. Ecosystem processes and dynamics in the urban/ wildland interface of Southern California. *Journal of Mediterranean Ecology* 2, 209–219.
- Shokri, M., Safaeian, N., Atrak Chaly, AA., 2002. Evaluate the impact of fire on vegetation countryside in the Takhti yelaghe Golestan National Park, *Iranian Journal of Natural Resources* 55(2), 273-281.
- Silvia Merino-de-Miguela Huescab, M., González-Alonsob, F., 2010. Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. *Ecological Modelling* 221, 67-74.
- Stephens, S., Finney, M., 2002. Prescribed fire mortality of Sierra Nevada mixed conifer tree species: effects of crown damage and forest floor combustion, *Forest Ecology and Management* 162, 261–271.
- Stephens, SL., 2005. Forest fire causes and extent on United States Forest Service lands. *International Journal of Wildland Fire* 14, 213–222.
- Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.
- Syphard, A.D., Radeloff, V.C., Keuler ,N.S., Taylor R.S., Hawbaker, T.J., Stewart S.I., Clayton, M.K., 2008. Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape. *International Journal of Wildland Fire* 17 (5), 602–613.

- Tanskanen, H., Venäläinen, A., Puttonen, P., Granström A., 2005. Impact of stand structure on surface fire ignition potential in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* forests in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 35, 410–420.
- Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N., Smakhtin, V. U., 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia, Research Report 85, International water management Institute. 35p.
- USDA, USDI., 2001. Urban–wildland interface communities within vicinity of Federal lands that are at high risk from wildfire. *Federal Register* 66, 751–777.
- Vakalis, D., Sarimveis, H., Kiranoudis, C., Alexandridis, A., Bafas, G., 2007. AGIS based operational system for wildland fire crisis management, mathematical modeling and simulation *Applied Mathematical Modeling* 28(4), 389 – 410.
- Whelan Robert, J., 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, New York, NY, 346 pp.
- Zhang, Z. X., Zhang, H. Y., & Zhou, D. W., 2010. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires. *Journal of Arid Environments* 74(3), 386-393.

