دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران شناسه دیجیتال: (DOI):10.22092/ijfrpr.2018.109362.1253
جلد ۱۵ شماره ۲، صفحه ۱۴۶-۱۳۱، (۱۳۹۶)

# پیش‌بینی احتمال خشکیدگی جنگل‌های استان لرستان با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ترکیبی

**امید قدیریان[۱]، محمودرضا همامی[۲*]، علیرضا سفیانیان[۳]، سعید پورمنافی[۴]، منصوره ملکیان[۴] و مصطفی ترکش[۵]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

پست الکترونیک:mrhemami@cc.iut.ac.ir

۳- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۵- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت:۹۵/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش:۹۶/۰۶/۲۱

## چکیده

شناسایی مناطق جنگلی مستعد خشکیدگی به منظور انجام اقدامات پیشگیرانه می‌تواند نقش بسزایی در مبارزه با این پدیده ایفا کند. مطالعات قبلی حاکی از کارآمدی مدل‌سازی در شناسایی این‌گونه مناطق است. از این‌رو برای شناسایی مناطق جنگلی مستعد خشکیدگی در استان لرستان از ۱۵ مدل به صورت ترکیبی استفاده شد. مناطقی از جنگل که دارای زوال بالای ۵۰٪ بودند به عنوان متغیر وابسته و عوامل محیطی میانگین بارندگی سالیانه، میانگین دمای سالیانه، میانگین رطوبت نسبی، شاخص خشکی، شاخص خشکسالی، تبخیر و تعرق، شاخص گرد و غبار، فاصله از اراضی کشاورزی و آبراهه‌ها، شیب، جهت و NDVI به عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل‌ها شدند. میزان AUC هر مدل در نقشه خروجی حاصل از آن ضرب و میانگین ۱۵ مدل به عنوان مدل ترکیبی در نظر گرفته شد. نقشه احتمال خشکیدگی حاصله بیانگر افزایش احتمال خشکیدگی از قسمت‌های مرکزی جنگل‌های استان به سمت قسمت‌های جنوب و جنوب غربی بود. مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان با AUC برابر ۱ بالاترین و مدل Bioclim با AUC برابر با ۰/۷۵ کمترین کارایی را داشتند. طبق مدل ترکیبی حدود ۲۳/۷، ۷/۵ و ۱۹/۵ درصد از جنگل‌های استان لرستان به ترتیب احتمال خشکیدگی کم، متوسط و زیاد را دارا هستند. عوامل اقلیمی شاخص خشکی، بارش، دما و تبخیر و تعرق به ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را در مدل‌ها داشتند. پژوهش پیش رو علاوه بر تأکید بر کارایی مدل‌سازی در شناسایی مناطق جنگلی دارای احتمال خشکیدگی، نشان داد که استفاده ترکیبی از مدل‌ها نتایج بهتری را نسبت به استفاده مجزا از آن‌ها به بار می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: زوال جنگل‌های زاگرس، تغییر اقلیم، اقدامات سازشی، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان.

## مقدمه

اکوسیستم‌های جنگلی از پیچیده‌ترین اکوسیستم‌های حیاتی هستند که در یک دوره چند هزار ساله بعد از کنش‌ها و واکنش‌های فراوان شکل گرفته‌اند (Achard *et al.*, 2002). جنگل‌ها تنوع وسیعی از خدمات اکوسیستمی را برای بشر مهیا می‌کنند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به مواردی مانند نقش

Archive of SID

www.SID.ir

آن‌ها در تثبیت کربن، جلوگیری از سیل و فرسایش، ارزش‌های تفرجی و زیباشناختی، فراهم آوردن زیستگاه و پناه برای حیات وحش و موارد بی‌شمار دیگر اشاره کرد (Amato *et al*., 2016). یکی از مهمترین دغدغه‌های امروز بشر روند سریع نابودی جنگل‌ها تحت تأثیر عوامل مختلف است. جنگل‌های زاگرس که به دلایل متعدد اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و بوم‌شناختی از عرصه‌های راهبردی کشور محسوب می‌شوند (Thagheb Talebi *et al*., 2004)، حدود ۴۱ درصد از کل جنگل‌های ایران (حدوداً ۱۴ میلیون هکتار) را تشکیل می‌دهند (Gaziree & Ebrahimi Rastaghe, 2003). این جنگل‌ها علاوه بر اینکه زیستگاه وسیعی را برای طیف گوناگونی از حیات وحش فراهم می‌کنند (Marvi Mohajer, 2011)، از مهمترین بوم‌سازگان‌های ایران از نظر بوم شناختی و حفظ ذخایر ژنتیکی به شمار می‌روند (Abasi *et al*., 2009)، و تشکیل دهنده ۶۹ درصد از فلور ایران نیز می‌باشند (Ghorbanli, 2002; Thabeti, 1994). گونه‌های بلوط (*Quercus* spp.) به عنوان فراوان‌ترین و مهمترین گونه‌های درختی این ناحیه، بیش از ۹۰ درصد از اراضی جنگلی این منطقه را در بر می‌گیرد به نحوی که می‌توان گفت جنس بلوط مشخص کننده سیمای ظاهری این جنگل‌هاست (Marvi Mohajer, 2011). استفاده بی رویه از جنگل‌های زاگرس طی سالیان متمادی، این جنگل‌های با ارزش را به بوم‌سازگان‌های حساس و شکننده‌ای تبدیل کرده است (Fatahi, 1995). امروزه جنگل‌های بلوط در معرض تهدیدات متعددی قرار دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به تغییر کاربری اراضی، قطع درختان، چرای دام، آتش سوزی عمدی و غیر عمدی، تهاجم آفات و بیماری‌ها و همچنین تغییر اقلیم اشاره کرد (Mahdavi *et al*., 2015). مطالعات میدانی متعدد صورت گرفته از منطقه رویشی زاگرس همگی حاکی از کاهش سطح این جنگل‌ها هستند (Mahdavi *et al*., 2015). یکی از رخدادهای تلخی که در یک دهه اخیر در جنگل‌های زاگرس در حال رخ دادن است و هر روز نیز بر وسعت آن افزوده می‌شود پدیده نوظهور خشکیدگی و زوال این جنگل‌ها است که بیشتر گونه‌های مختلف درختی، درختچه‌ای و حتی برخی از گونه‌های مرتعی را نیز شامل می‌شود (Attarod *et al*., 2016). بر اساس آخرین آمارهای رسمی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ خورشیدی حدود یک میلیون و سیصد و پنجاه هزار هکتار از جنگل‌های زاگرس (حدود ۲۵ درصد کل این جنگل‌ها) دچار زوال و خشکیدگی شده‌اند که در این بین استان‌های ایلام، کرمانشاه و لرستان به ترتیب بیشترین مساحت جنگل‌های زوال یافته را به خود اختصاص داده‌اند (Mahdavi *et al*., 2015). عوامل متعددی بر خشکیدگی درختان تأثیر دارند و تعیین عامل مهمتر کار بسیار دشواری است (Das *et al*., 2008). عواملی مانند عوامل فیزیوگرافیک، عوامل اقلیمی، خصوصیات و ساختار توده، رقابت درختی و آفات و بیماری‌ها بر خشکیدگی درختان مؤثرند (Moravie & Robert, 2003; Das *et al*., 2011; Franklin *et al*., 1987) علاوه بر این، خشکسالی‌ها و بروز تنش‌های خشکی شدید که باعث می‌شود درختان نتوانند آب مورد نیاز خود را به اندازه کافی بدست آورند از عوامل اصلی خشک شدن جنگل‌ها به‌شمار می‌آیند (Bigler *et al*., 2006). زوال و خشکیدگی بوم‌سازگان جنگلی زاگرس یک پدیده چند بعدی، پیچیده و ملی است که تنوع عوامل تأثیرگذار بر این پدیده در مناطق مختلف، کار قضاوت و برنامه‌ریزی در رابطه با آن را بسیار دشوار کرده است (Attarod *et al*., 2016). پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی، تهدید امنیت غذایی، تشدید مشکلات ناشی از تغییرات اقلیمی در کشور، تغییرات کمی و کیفی در منابع آبی غرب کشور، گسترش پدیده بیابان‌زایی و فرسایش بادی، افزایش ریزگردها و کاهش تنوع زیستی کشور از مهمترین پیامدهای از بین رفتن این جنگل‌ها هستند که در نتیجه حفاظت از این جنگل‌ها را ضروری می‌سازد (Beyranvand *et al*., 2015). در این راستا شناسایی مناطق مستعد خشکیدگی پیش از وقوع، به منظور انجام اقدامات پیشگیرانه می‌تواند نقش بسزایی در جلوگیری از روند رو به رشد این پدیده داشته باشد. مطالعات قبلی تأیید کننده کارایی مدل‌سازی برای شناسایی مناطق در معرض خطر است. به عنوان مثال Mahdavi و همکاران (۲۰۱۵) از مدل رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه احتمال خشکیدگی در

Archive of SID

www.SID.ir

جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی واقع در استان ایلام استفاده کردند. ROC برابر با ۰/۸۶ نشان‌دهنده کارایی خوب این مدل در این مطالعه بود. Ahmadi و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش زمین آمار نقشه خشکیدگی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) را در دشت برم استان فارس به‌دست آوردند و به این نتیجه رسیدند که روش زمین آمار (کریجینگ) در نقشه‌سازی احتمال خشکیدگی درختان بلوط از کارایی بالایی برخوردار است. De souza و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی توزیع مکانی جنگل‌زدایی را برای جنگل‌های آمازون غربی در برزیل با دقت بالا پیش‌بینی کردند. Hong و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از چهار تابع ماشین‌های بردار پشتیبان مکان‌های دارای ریسک بالای زمین لغزش را در منطقه لکسی چین شناسایی و ارزیابی صحت کردند. نتایج بیانگر توانایی بالای این مدل بود. Wang و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل جنگل تصادفی به ارزیابی ریسک سیل برای حوضه رودخانه دانجی یانگ چین پرداختند و نقشه مناطق دارای ریسک بالای سیل را تهیه و ارزیابی صحت کردند که نتایج حاکی از کارایی بالای این مدل بود. مدل‌های مختلف از منطق‌های متفاوتی بهره می‌برند که هر کدام دارای مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر هستند. استفاده ترکیبی از مدل‌های مختلف باعث می‌شود تا نقاط ضعف هر مدل به‌وسیله نقاط قوت مدل‌های دیگر پوشش داده شود و خروجی حاصل قابل اعتمادتر گردد. به همین منظور در این پژوهش از روش‌های فاصله ماهالانوبیس، شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، الگوریتم ژنتیک، مدل خطی تعمیم یافته، تحلیل آشیان بوم‌شناختی، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، درخت رگرسیون ارتقا یافته، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، حداکثر آنتروپی، رگرسیون لجستیک، MARS، Bioclim و Domain به صورت ترکیبی برای شناسایی مناطق مستعد خشکیدگی از لحاظ عوامل اقلیمی، فیزیوگرافیک و اکولوژیک در جنگل‌های زاگرس استان لرستان به عنوان یکی از مهمترین استان‌های درگیر با این پدیده استفاده شد. شناسایی مناطق مستعد خشکیدگی و قرار دادن آن‌ها در اولویت به‌منظور انجام اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی (توسط مسئولین امر) می‌تواند نقش بسزایی در جلوگیری از روند رو به رشد خشکیدگی جنگل‌های زاگرس در آینده نزدیک داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

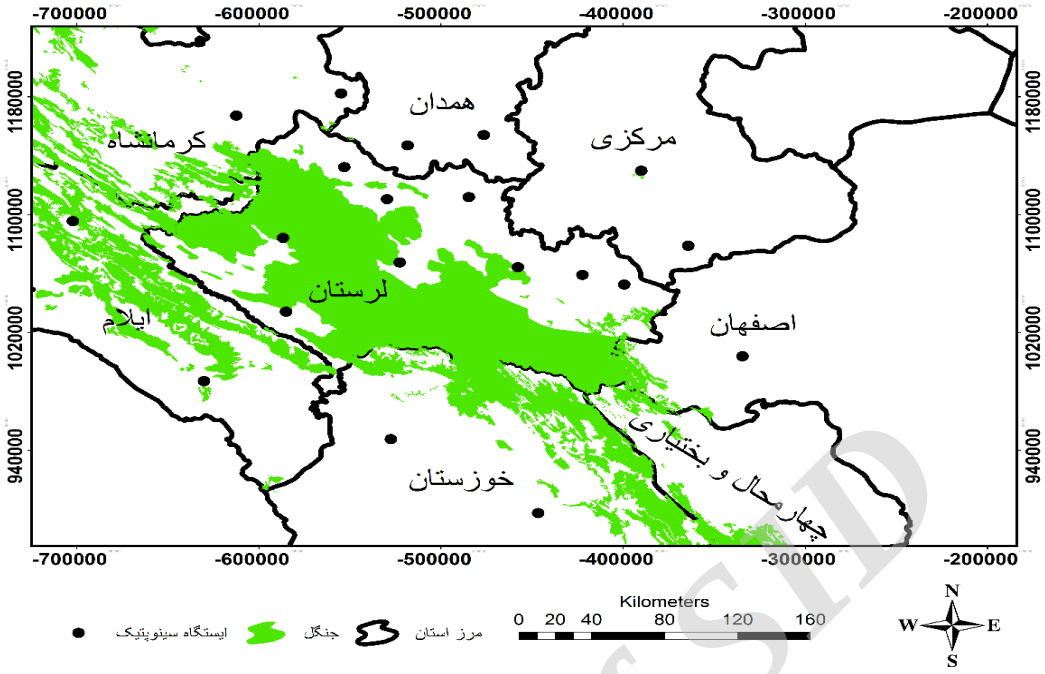
این پژوهش در جنگل‌های استان لرستان که در بخش غربی زاگرس واقع شده است صورت گرفت (شکل ۱). این استان کوهستانی با مساحتی حدود ۲۸۰۰۰ کیلومتر مربع دارای حدود یک میلیون و ۲۳۰ هزار هکتار جنگل است که چیزی معادل با ۴۴ درصد از مساحت این استان را در بر می‌گیرد. ۳ ناحیه بارز آب و هوایی در این استان شامل ناحیه سرد کوهستانی، ناحیه معتدل مرکزی و ناحیه گرم جنوب وجود دارند. لرستان به لحاظ اقلیم و هواشناسی یک استان چهار فصل است که تنوع آب و هوایی از شمال به جنوب و از شرق به غرب این استان کاملاً محسوس است. بیشینه و کمینه دمای ثبت شده در این استان به ترتیب عبارتند از ۴۷/۴ و ۳۶- و میانگین بارش سالانه این استان ۵۵۰ میلی‌متر است.

### عوامل اقلیمی

به منظور دست‌یابی به نقشه‌های اقلیمی استان لرستان از اطلاعات مربوط به ۲۰ ایستگاه سینوپتیک موجود در استان لرستان و استان‌های اطراف با پراکندگی مناسب در سطح منطقه و با حداقل ۱۵ دوره آماری، استفاده شد (شکل ۱). برای تهیه نقشه میانگین بارندگی، دما و درصد رطوبت نسبی استان لرستان، میانگین این پارامترها برای هر ایستگاه از بدو تأسیس تا سال ۱۳۹۵ محاسبه و پس از بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی و مقایسه آن‌ها از طریق ارزیابی متقابل (Cross validation)، روش کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) انتخاب و با استفاده از آن پهنه‌بندی در کل استان لرستان صورت گرفت. مطالعات گذشته نیز روش کریجینگ را به عنوان بهترین روش برای تهیه نقشه‌های اقلیمی تشخیص داده‌اند (Nadi *et al.*, 2012). تمامی مراحل گفته شده در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 انجام شد.

Archive of SID

www.SID.ir




شکل ۱- موقعیت جغرافیایی جنگل‌های استان لرستان و استان‌های همجوار و ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده در این مطالعه

**تبخیر و تعرق مرجع**

روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ارائه شده که در این بین روش فائو-پنمن-مانتیث در سال ۱۹۹۰ میلادی از سوی کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) به عنوان روش استاندارد برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع از روی داده‌های اقلیمی پیشنهاد شد (Espadafor *et al.*, 2001). به‌همین‌منظور در این مطالعه با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیث تبخیر و تعرق مرجع به صورت سالیانه برای ایستگاه‌های مذکور محاسبه و سپس با استفاده از درون‌یابی کریجینگ در محیط GIS در سراسر استان لرستان پهنه‌بندی شد.

**شاخص خشکی (Aridity index)**

شاخص‌های مختلفی برای خشکی وجود دارد که از بهترین آنها می‌توان به شاخص نسبت بارش به تبخیر و تعرق مرجع اشاره کرد (UNESCO, 1979). هر چه میزان این شاخص کم‌تر باشد میزان خشکی بیش‌تر است. به‌همین‌منظور در این پژوهش از این شاخص برای محاسبه خشکی در هر ایستگاه استفاده شد و سپس با استفاده از درون‌یاب کریجینگ عمل پهنه‌بندی صورت گرفت.

**شاخص خشکسالی**

شاخص بارش استاندارد شده (Standardized Precipitation Index; SPI) به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای دوره‌های متفاوت زمانی (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) و همچنین مقیاس‌های مکانی مختلف، به عنوان شاخصی مناسب برای تحلیل خشکسالی از مقبولیت جهانی برخوردار شده است (Mackee *et al.*, 1995). در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد شده ابتدا این شاخص به صورت سالانه برای هر ایستگاه محاسبه و با توجه به اینکه پدیده خشکیدگی جنگل‌های زاگرس عمدتاً در یک دهه اخیر اتفاق افتاده است، SPI سالیانه از سال ۱۳۸۰ به بعد مدنظر قرار گرفت. به منظور مدنظر قرار دادن شدت خشکسالی‌های اتفاق افتاده در این دوره در هر

Archive of SID
www.SID.ir

ایستگاه علاوه بر فراوانی آن، به خشکسالی متوسط ارزش ۱، به وضعیت خیلی خشک ارزش ۱/۵ و به وضعیت خیلی خیلی خشک ارزش ۲ تعلق داده شد و مجموع این ارزش‌ها برای دوره زمانی ۱۵ ساله به عنوان شاخص خشکسالی هر ایستگاه در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از درون‌یاب کریجینگ در محیط GIS نقشه شاخص شدت و فراوانی خشکسالی در ۱۵ ساله اخیر برای استان لرستان تهیه شد. در انتها نقشه درون‌یابی شده با استفاده از تابع عضویت خطی فازی در محیط GIS به مقیاس ۰ تا ۱ تغییر مقیاس داده شد.

**شاخص طوفان گرد و غبار**

در این مطالعه از شاخص طوفان گرد و غبار برای بررسی و پهنه‌بندی گرد و غبار استفاده شد ( O'Loingsigh *et al.*, 2014). این شاخص بر استفاده از داده‌های هواشناسی متکی است و نمایه‌ای از فرکانس و شدت طوفان گرد و غبار را در بازه زمانی دلخواه محاسبه می‌کند. این شاخص بر مبنای دفعات ثبت کدهای پدیده‌های بصری براساس کاهش میدان دید محاسبه می‌شود. مشاهدات پدیده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک هر سه ساعت یکبار صورت می‌گیرد. در این مشاهدات پدیده‌های بصری آب و هوا بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی در ۱۰۰ کد (۹۹ – ۰) تعریف شده است که از این ۱۰۰ کد از ۱۱ کد به منظور ثبت و گزارش پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استفاده می‌شود. این شاخص بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$DSI_{\mathrm{i}} = \sum(5 * SDS) + MDS + (0.05 * LDE) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابط $DSI_{\mathrm{i}}$ بیانگر شاخص طوفان گرد ( Dust Storm Index) و غبار برای ایستگاه i، SDS ( Severe Dust storm) بیانگر روزهای طوفانی با گرد و غبار شدید (مجموع مشاهدات کدهای ۳۵ – ۳۳)، MDS ( Moderate Dust Storm) بیانگر روزهای طوفانی با گرد و غبار متوسط (مجموع مشاهدات کدهای ۳۰، ۳۲ و ۹۸)، LDE ( Local Dust Events) بیانگر روزهای با گرد و غبار محلی (مجموع مشاهدات کدهای ۷ و ۹) هستند. در این مطالعه برای ۲۱ ایستگاه مذکور متوسط DSI سالانه در ۱۵ سال اخیر محاسبه و سپس با استفاده از درون‌یاب کریجینگ در کل استان لرستان پهنه‌بندی و با استفاده از تابع عضویت خطی فازی به مقیاس ۰ تا ۱ تغییر مقیاس داده شد.

**فاصله از اراضی کشاورزی و آبراهه‌ها**

گسترش اراضی کشاورزی در زیر اشکوب جنگل‌های زاگرس به عنوان یکی از عوامل احتمالی خشکیدگی جنگل‌های زاگرس مطرح است. به همین خاطر عامل فاصله از اراضی کشاورزی به عنوان یکی از عوامل انسانی تأثیرگذار بر پدیده زوال در این مطالعه مدنظر قرار گرفت. به منظور تهیه نقشه اراضی کشاورزی استان لرستان از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۶ مربوط به سنجنده OLI لندست ۸ استفاده شد. ابتدا تصحیحات اتمسفری و هندسی لازم بر روی تصویر انجام و در نهایت تصویر با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده شبکه عصبی در نرم‌افزار Idrisi با صحت کلی ۸۸ درصد طبقه‌بندی شد. در نهایت با استفاده از دستور فاصله در محیط GIS نقشه فاصله از اراضی کشاورزی استان لرستان تهیه شد. نقشه فاصله از آبراهه‌ها نیز با استفاده از دستور فاصله در محیط GIS و بر اساس نقشه آبراهه‌های کشور تهیه شد.

**عوامل فیزیوگرافیک**

تحقیقات انجام شده در سایر نقاط دنیا نشان می‌دهد که مرگ و میر درختان در سطح جنگل‌ها متأثر از شرایط مختلف توپوگرافیک است و بنابراین به طور یکسان و یکنواخت اتفاق

Archive of SID

www.SID.ir

نمی‌افتد (Guarin & Taylor, 2005). به‌همین‌خاطر در این مطالعه از دو عامل فیزیوگرافیک درصد شیب و جهت استفاده شد. عامل درصد شیب به این دلیل انتخاب شد که نقش مهمی در عمق خاک و میزان نفوذ آب به داخل خاک دارد و در نتیجه از این جنبه می‌تواند در پدیده زوال جنگل‌های بلوط نقش بازی کند. از طرف دیگر عامل جهت می‌تواند در میزان دریافت تابش خورشید و در نتیجه میزان تبخیر و تعرق و در پی آن پدیده زوال جنگل‌های بلوط نقش بازی کند. به منظور تهیه نقشه شیب و جهت استان لرستان از نقشه مدل رقومی ارتفاع بهره گرفته شد. به این ترتیب که ابتدا این نقشه از سایت USGS دانلود و سپس در نرم افزار Arc GIS 10.3 و با استفاده از دستور آنالیزهای سطحی مورد پردازش قرار گرفت.

**NDVI**

خصوصیات و ساختار توده و همچنین رقابت درختی نیز از عواملی هستند که در خشکیدگی درختان مؤثرند (Franklin *et al.*, 1987). با توجه به عدم دسترسی به اطلاعاتی از قبیل تراکم و تیپ پوشش گیاهی جنگل‌های استان لرستان، از شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) استفاده شد. بدین‌منظور از تصاویر مربوط به سنجنده OLI لندست ۸ استفاده شد. در ابتدا تصحیحات لازم از جمله تصحیحات هندسی، اتمسفری و توپوگرافیک بر روی این تصویر در نرم‌افزار ENVI صورت گرفت و سپس با استفاده از دستور spectral index در نرم افزار ENVI شاخص پوشش گیاهی نرمال شده استان لرستان تهیه شد.

**جدول ۱- مدل‌های استفاده شده در این مطالعه**

| نام فارسی مدل | نام انگلیسی مدل | منبع |
|---|---|---|
| فاصله ماهالانوبیس | Mahalanobis Distance | (Farber & Kadmon, 2003) |
| شبکه عصبی مصنوعی | Artificial Neural Network | (Rosenblatt, 1958) |
| جنگل تصادفی | Random Forest | (Breiman, 2001) |
| ماشین بردار پشتیبان | Support Vector Machine | (Vapnik, 1995) |
| بی‌نام | Bioclim | (Busby, 1991) |
| بی‌نام | Domain | (Carpenter *et al*., 1993) |
| تحلیل آشیان بوم شناختی | Environmental Niche Factor Analysis | (Hirzel, 2002) |
| الگوریتم ژنتیک | (ENFA) | (Stockwell & peters, 1999) |
| مدل خطی تعمیم یافته | Genetic Algorithm | (Mccullagh & Nelder, 1989) |
| درخت طبقه‌بندی و رگرسیون | Generalized Linear Model | (Breiman, 1984) |
| درخت رگرسیون ارتقا یافته | Classification And Regression Tree | (Friedman, 2001) |
| بی‌نام | (CART) | (Friedman, 1991) |
| حداکثر آنتروپی | Boosted Regression Tree | (Phillips *et al*., 2006) |
| تحلیل ممیزی انعطاف پذیر | Multivariate Adaptive Regression Spline | (Hastie *et al*, 1994) |
| رگرسیون لجستیک | (MARS) | (He & Lo, 2007) |
| | Maximum Entropy | |
| | Flexible Discriminant analysis | |
| | Logistic Regression | |

Archive of SID

www.SID.ir

**روش‌های استفاده شده**

در این مطالعه از ۱۵روش به منظور مدل‌سازی احتمال خشکیدگی جنگل‌های زاگرس استان لرستان استفاده شد (جدول ۱).

در همه این مدل‌ها مناطق دارای زوال بیش از ۵۰ درصد (تهیه شده از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور) به عنوان متغیر وابسته و عوامل محیطی ذکر شده به عنوان متغیر مستقل مورد استفاده قرار گرفتند. برای تمامی مدل‌های ذکر شده از نرم‌افزار آماری R استفاده شد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از سطح زیر نمودار (AUC) به‌دست آمده از منحنی ROC استفاده شد. در ادامه برای اینکه مدل‌های با عملکرد بهتر نقش بیشتری را در مدل ترکیبی بازی کنند میزان AUC هر مدل در خروجی آن با استفاده از دستور محاسبه‌گر رستری در نرم‌افزار GIS ضرب و در نهایت میانگین شش مدل ساخته شده به عنوان مدل ترکیبی در نظر گرفته شد. در پایان نقشه حاصل از ترکیب مدل‌ها به چهار طبقه فاقد احتمال خشکیدگی (۰ درصد)، احتمال خشکیدگی کم (۰-۳۳ درصد)، احتمال خشکیدگی متوسط (۳۳-۶۶ درصد) و احتمال خشکیدگی زیاد (بالای ۶۶ درصد) طبقه‌بندی شد.

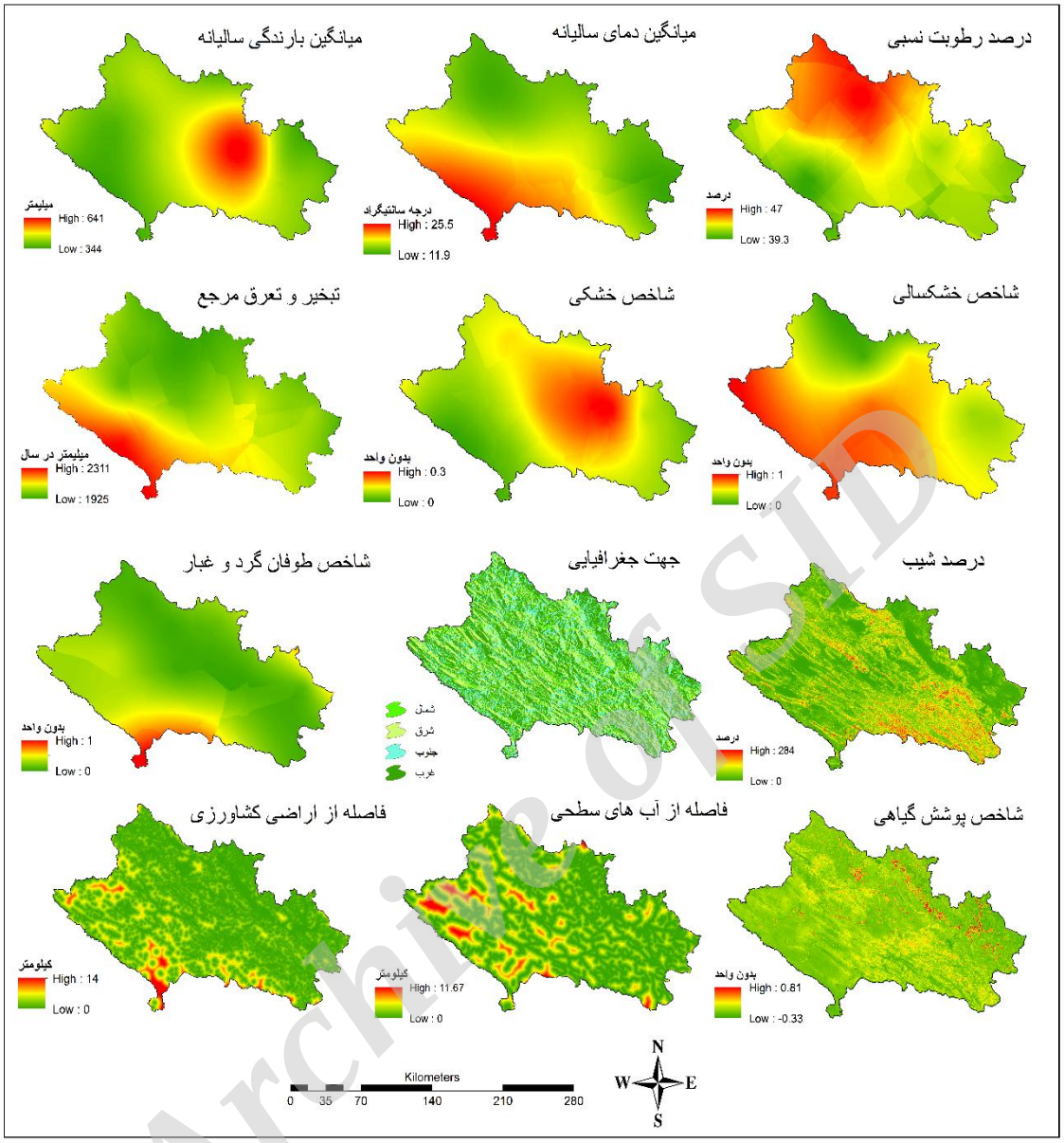
## نتایج

شکل ۲ نقشه‌های طبقات هر یک از ۱۲ عامل محیطی استفاده شده در مدل‌ها به عنوان متغیر مستقل را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بیشترین میزان دما مربوط به قسمت‌های جنوب و جنوب غربی استان و بیشترین میزان بارندگی مربوط به حدفاصل قسمت‌های شرقی و شمال شرقی شهرستان خرم‌آباد تا قسمت‌های غربی شهرستان‌های ازنا و الیگودرز می‌باشد. تبخیر و تعرق مرجع نشان‌دهنده یک روند افزایشی به سمت جنوب و جنوب غرب این استان است. بیشترین میزان درصد رطوبت نسبی مربوط به قسمت‌های شمالی و شمال شرقی استان است و یک روند کلی کاهشی نیز به سمت جنوب استان قابل مشاهده است. قسمت‌های جنوب غربی استان لرستان کمترین میزان را از لحاظ شاخص خشکی دارند که این بیانگر تنش خشکی بیشتر در این مناطق است. قسمت‌های جنوبی و پس از آن قسمت‌های غربی و جنوب غربی استان بیشترین میزان طوفان گرد و غبار را بر اساس شاخص DSI در ۱۵ ساله اخیر تجربه کرده‌اند. قسمت‌های شرقی و شمال شرقی استان نیز میزان نسبتاً زیادی از گرد و غبار را نشان می‌دهند که می‌توان آن را به بالا بودن شاخص DSI در ایستگاه‌های داران (اصفهان) و اراک و خمین (مرکزی) نسبت داد. بالاترین میزان DSI مربوط به ایستگاه دزفول (خوزستان) بود و بالاترین میزان DSI در بین ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان مربوط به ایستگاه پل‌دختر بود. طی ۱۵ سال گذشته، خشکسالی در مناطق جنوبی و جنوب غربی استان لرستان شدت و فراوانی بیشتر و در مناطق شرقی، شمالی و شمال شرقی شدت و فراوانی کمتری داشته است. تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان خشکسالی با شدت متوسط و یا زیاد را در این بازه زمانی تجربه کرده‌اند. درصد شیب در این استان بین ۰ تا ۲۸۴ درصد متغیر است و تمامی جهت‌های جغرافیایی در این استان کوهستانی قابل مشاهده است. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده استان لرستان نیز دربردارنده ارزش‌های ۰/۳۳- تا ۰/۸۱ است که بیانگر وضعیت خوب این استان از لحاظ پوشش گیاهی است. بیشترین تراکم اراضی کشاورزی در استان لرستان، مربوط به قسمت‌های شمالی این استان است.

خروجی حاصل از مدل‌های مختلف در شکل ۳ به نمایش درآمده است. مدل‌های مختلف رفتارهای متفاوتی را در رابطه با تعیین احتمال خشکیدگی قسمت‌های مختلف جنگل نشان دادند ولی روند کلی همه این مدل‌ها بیانگر احتمال بیشتر خشکیدگی در مناطق جنوبی و جنوب غربی جنگل‌های زاگرس استان لرستان بود.

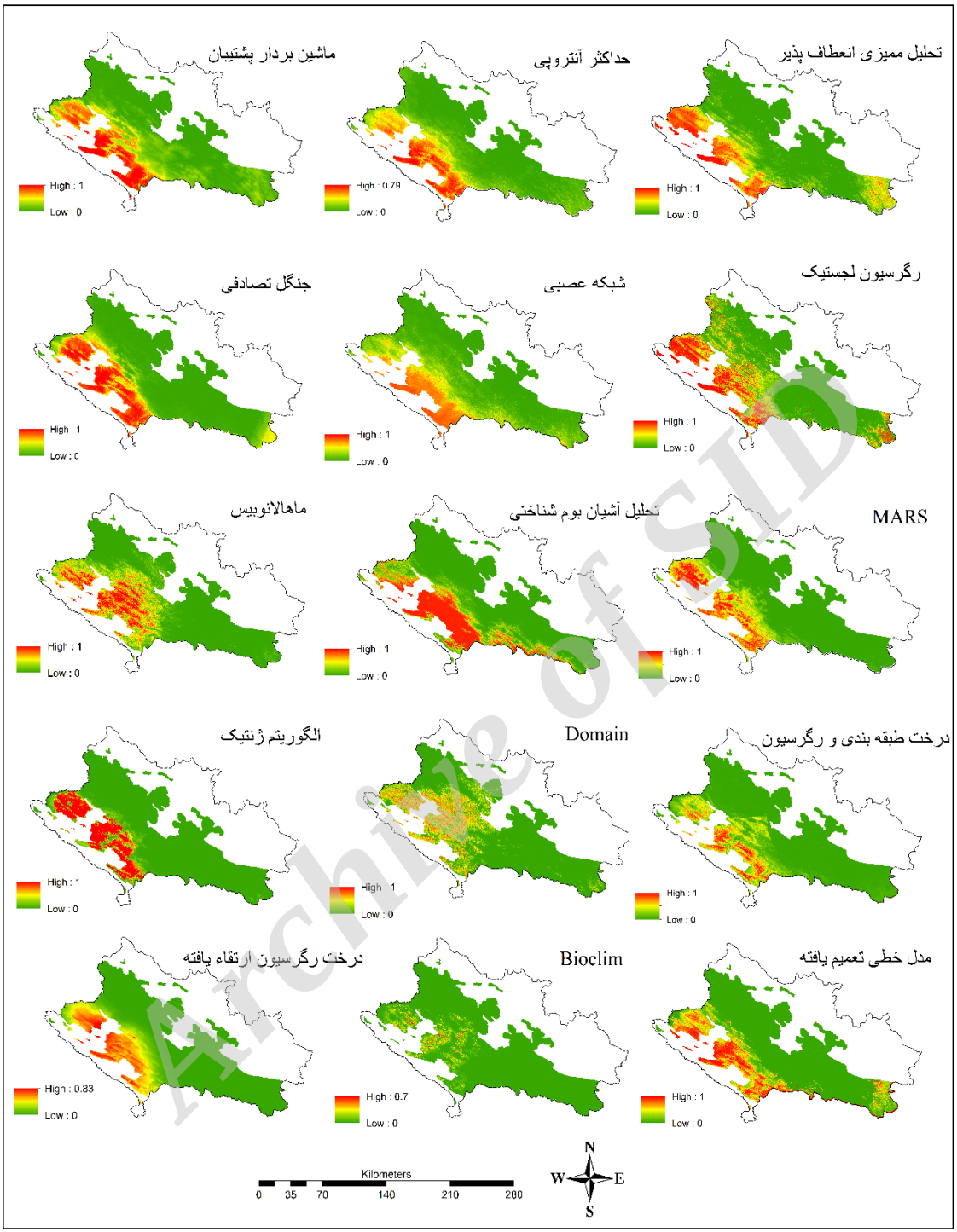
Archive of SID

www.SID.ir




شکل ۲- نقشه‌های عوامل محیطی استفاده شده در مدل‌ها

Archive of SID
www.SID.ir

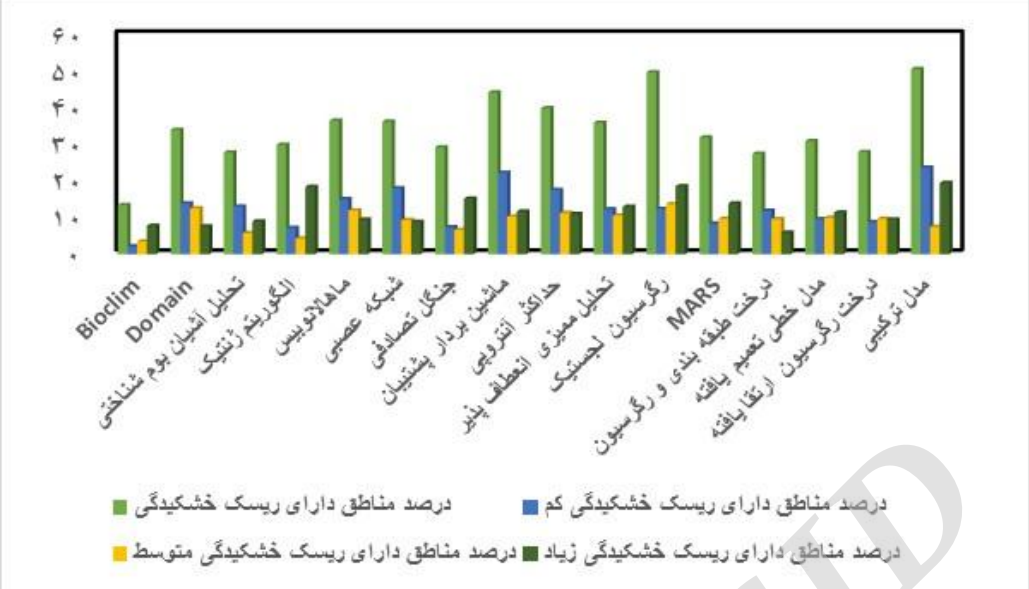



شکل ۳- نقشه‌های خروجی‌های حاصل از مدل‌های مختلف

مطابق شکل ۴ هر مدل میزان مساحت متفاوتی از جنگل‌های استان لرستان را دارای احتمال خشکیدگی شناسایی کرد که در این بین مدل رگرسیون لجستیک با ۴۸/۷ درصد و مدل Bioclim با ۱۲/۷ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت از جنگل‌ها را دارای احتمال خشکیدگی شناسایی کردند.

Archive of SID

www.SID.ir




شکل ۴- درصد مناطق جنگلی دارای ریسک خشکیدگی بر اساس مدل‌های مختلف

جدول ۲ میزان AUC هر مدل را به عنوان شاخصی از کارایی آن‌ها در این مطالعه نشان می‌دهد که بر طبق آن روش‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان با AUC برابر با ۱ بیشترین کارایی و روش Bioclim با AUC برابر با ۰/۷۵ کمترین کارایی را در این مطالعه داشتند.

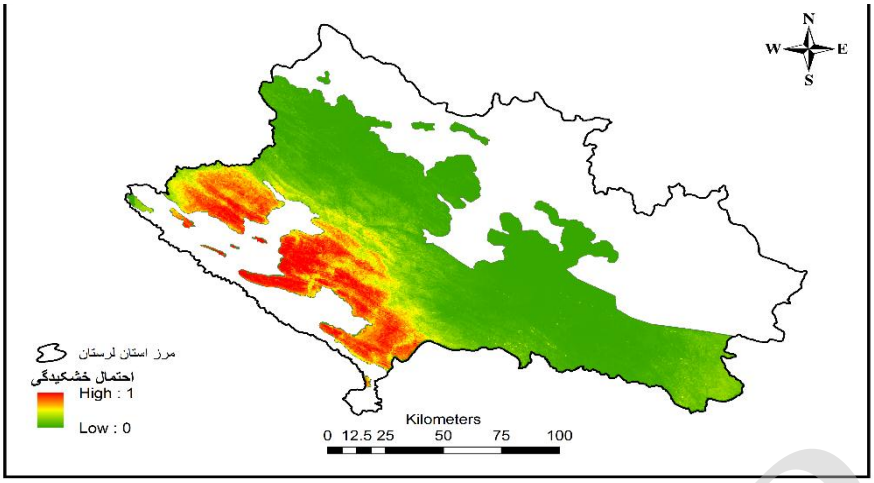
جدول ۲- میزان کارآیی مدل‌های مختلف

| نام مدل | ماشین بردار پشتیبان | جنگل تصادفی | شبکه عصبی | ماهالانوبیس | الگوریتم ژنتیک | ENFA | Bioclim | Domain |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AUC | ۱ | ۱ | ۰/۹۴ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۲ | ۰/۷۵ | ۰/۹۴ |
| نام مدل | درخت رگرسیون ارتقا یافته | مدل خطی تعمیم یافته | درخت طبقه‌بندی و رگرسیون | رگرسیون لجستیک | تحلیل ممیزی انعطاف پذیر | حداکثر آنتروپی | MARS | |
| AUC | ۰/۸۶ | ۰/۸۹ | ۰/۸۴ | ۰/۹۳ | ۰/۸۹ | ۰/۹ | ۰/۸۹ | |

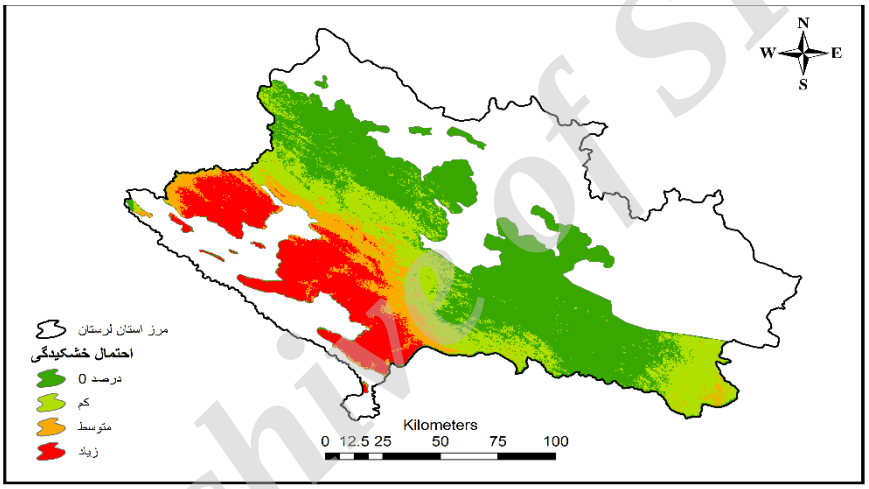
شکل ۵ میانگین ۱۵ روش استفاده شده را تحت عنوان مدل ترکیبی نمایش می‌دهد. این مدل نیز نشان دهنده روند افزایشی احتمال خشکیدگی از قسمت‌های مرکزی به سمت قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی جنگل‌های استان لرستان است. همچنین احتمال پایینی از خشکیدگی نیز در قسمت‌های جنوب شرقی این جنگل‌ها قابل مشاهده است. طبق شکل‌های ۴ و ۶ که نقشه طبقات احتمال خشکیدگی را بر اساس مدل ترکیبی نشان می‌دهد حدود ۵۰/۷ درصد از جنگل‌های استان لرستان دارای احتمال خشکیدگی هستند که از این بین حدود ۲۳/۷ درصد از جنگل‌ها دارای احتمال خشکیدگی کم، حدود ۷/۵ درصد دارای احتمال خشکیدگی متوسط و حدود ۱۹/۵ درصد دارای احتمال خشکیدگی زیاد هستند.

Archive of SID

www.SID.ir




شکل ۵- نقشه حاصل از ترکیب مدل‌های مختلف (مدل ترکیبی)




شکل ۶- نقشه حاصل از طبقه‌بندی مدل ترکیبی

میانگین میزان تأثیرگذاری عوامل محیطی در ۱۵ مدل، بیانگر تأثیرگذاری بالاتر عوامل اقلیمی بود که در این بین عوامل شاخص خشکی، بارش، دما و تبخیر و تعرق به ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را از خود نشان دادند (شکل ۷). نتایج حاصل از همبستگی بین عوامل محیطی و مدل ترکیبی نیز بیانگر رابطه مثبت احتمال خشکیدگی با عوامل دما، تبخیر و تعرق، شاخص گرد و غبار، شاخص خشکسالی، فاصله از آبراهه، فاصله از اراضی کشاورزی، شیب و جهت و رابطه منفی آن با عوامل بارش، شاخص خشکی، رطوبت نسبی و NDVI بود.

## بحث

نقشه ریسک زوال جنگل‌های زاگرس استان لرستان حاصله از مدل‌های مختلف بیانگر افزایش ریسک خشکیدگی از مرکز به سمت قسمت‌های جنوب و جنوب غربی جنگل‌های بلوط استان لرستان بود.

Archive of SID

www.SID.ir




شکل ۷- میانگین میزان تأثیرگذاری عوامل محیطی در هشت مدل

همچنین همبستگی این نقشه‌ها با ۱۲ عامل محیطی استفاده شده بیانگر اثرگذاری بالاتر عوامل اقلیمی نسبت به عوامل غیر اقلیمی بود که در این بین شاخص خشکی رابطه منفی و معنی‌دارتری را نشان می‌داد. در همه مدل‌ها به جز مدل ماشین بردار پشتیبان و مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون عامل شاخص خشکی بیشترین تأثیرگذاری را داشته است که این موضوع به معنای این است که هر چه بارش کاهش و تبخیر و تعرق افزایش یابد احتمال رخداد پدیده زوال افزایش می‌یابد. این نکته نیز قابل توجه بود که در همه مدل‌ها میزان اثرگذاری شاخص خشکی یعنی نسبت بارش به تبخیر و تعرق در پدیده زوال نسبت به میزان اثرگذاری جداگانه بارش یا تبخیر و تعرق بالاتر بود که می‌تواند به اهمیت تأثیر توأمان این دو عامل اشاره کند. به طور مشابه، Attarod و همکاران (۲۰۱۶)، Van Mantgemdو همکاران (۲۰۰۹) و Ozturk و همکاران (۲۰۱۰) عوامل اقلیمی را از مهمترین عوامل مرگ و زوال درختان تشخیص داده‌اند. Hamzehpour و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعه خود در رابطه با نقش متغیرهای اقلیمی در پدیده خشکیدگی بلوط ایرانی در دشت برم کازرون استان فارس، نقش عامل بارندگی و کاهش آن را در پدیده زوال معنی دار یافتند. Attarod و همکاران (۲۰۱۳)، Dolatshahi (۲۰۱۴) و Rostami و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات خود راجع به جنگل‌های زاگرس جنوبی و شمالی به این نتیجه رسیدند که متغیرهای بارش و دما در دهه اخیر دارای کاهش بوده است.

با توجه به کم بودن تأثیرگذاری عوامل غیر اقلیمی نمی‌توان از آن‌ها به عنوان عوامل مهمی در رابطه با پدیده زوال نام برد. همان‌طور که انتظار می‌رفت درصد شیب با احتمال خشکیدگی رابطه مستقیم ضعیفی را نشان داد. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده با احتمال خشکیدگی رابطه منفی نشان داد که بیانگر احتمال بیشتر خشکیدگی در مناطق با تراکم کمتر پوشش گیاهی است. این نتیجه با توجه به نقش زیاد عوامل اقلیمی در پدیده زوال و وابستگی زیاد پوشش گیاهی به عوامل اقلیمی قابل توجیه است. مقایسه AUC مدل‌های مختلف نشان‌دهنده کارایی بالاتر مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در این مطالعه بود. البته این به معنای برتری همیشگی این دو روش نسبت به سایر روش‌ها نیست و در هر مطالعه‌ای باید برای دستیابی

Archive of SID
www.SID.ir

به بهترین نتیجه کارایی آنها در آن مطالعه خاص سنجیده شود. باید به این نکته توجه داشت که در همان مکان‌هایی که خشکیدگی رخ‌داده است، درختان سالم نیز وجود دارند. این موضوع نشان‌دهنده چند بعدی بودن موضوع زوال جنگل‌های بلوط است. بنابراین بررسی عوامل محیطی مختلف مانند عوامل اقلیمی، عوامل بوم‌شناختی، عوامل فیزیوگرافیک و عوامل انسانی، هرکدام به طور جداگانه نمی‌تواند بررسی و مطالعه مناسبی در رابطه با این پدیده چند بعدی باشد ضمن اینکه مقیاس مطالعه نیز بسیار مهم است. انجام مطالعات تکمیلی در مقیاس خرد می‌تواند دلیل ناهمگنی خشکیدگی درختان در مقیاس محلی را توجیه کند. همان‌طور که در بخش نتایج مشاهده شد اگر چه مدل‌های مختلف روند کلی یکسانی را برای افزایش احتمال خشکیدگی نشان می‌دادند ولی هر مدل مساحت متفاوتی از جنگل‌ها را دارای احتمال خشکیدگی تشخیص می‌داد که این مرتبط با بهره‌مندی مدل‌های مختلف از منطق‌های متفاوت در امر مدل‌سازی است. این موضوع حتی برای مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی که بالاترین میزان صحت را داشتند نیز صدق می‌کرد. بنابراین انتخاب مدل مناسب‌تر بر اساس AUC نیز چندان نمی‌تواند اطمینان بخش باشد و بهترین کار استفاده ترکیبی از مدل‌هاست. از طرف دیگر مدل ترکیبی نسبت به سایر مدل‌ها بیشترین مساحت از جنگل‌ها را دارای احتمال خشکیدگی تشخیص داد که این خود می‌تواند بر جامعیت بیشتر این مدل تأکید کند. با توجه به اینکه این پژوهش با در نظرگیری عوامل و معیارهای مختلف مؤثر در خشکیدگی با استفاده از ۱۵ مدل به صورت ترکیبی صورت گرفت و همه مدل‌ها نتایج به نسبت مشابهی را ارائه دادند و با توجه به اینکه مدل‌های مختلف صحت کلی مناسبی را نشان دادند، بنابراین می‌توان ادعا کرد که نتایج این پژوهش قابل اتکا است. شناسایی مناطق مستعد خشکیدگی قبل از رخ دادن این پدیده می‌تواند کمک شایانی به جلوگیری از آن از طریق اقدامات مدیریتی مناسب بکند. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده مطالعاتی چند بعدی و چند مقیاسه و با در نظرگیری تمامی عوامل احتمالی دخیل در پدیده زوال باشند. عواملی از قبیل گرد و غبار، تیپ پوشش گیاهی و نقش گسترش اراضی کشاورزی در زیر اشکوب از دیگر عواملی هستند که لازم است در پژوهش‌های آینده در کنار عوامل ذکر شده در این پژوهش برای شناسایی مناطق مستعد زوال و خشکیدگی استفاده شوند.

**References**


- Abasi, S., Hoseini, S., Pileh Var, B. and Zare, H. 2009. The effect of Protection on Biodiversity of wooden species in Oshtrankouh Lorestan. Forest Journal of Iran, 1: 1-10 (In Persian).
- Achard, F., Eva, D.H., Stibing, H., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T. and Malingreau, J. 2002. Determination of deforestation rates of world's humid tropical forests. Science, 297: 999-1006.
- Ahmadi, Sh., Zahedi Amiri, Gh. and Marvie Mohadjer, M.R. 2016. Mapping Brant's oak (Quercus brantii Lindl.) mortality using geostatistical methods in Dasht-e Barm, Fars Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(3): 439-450 (In Persian).
- Alizadeh, A. 2004. Water, Soil and Plant relationship. Astan Quds Razavi Publishing House, Mashhad, 470p (In Persian).
- Amato, D., Recola, M., Li, N. and Toppinen, A. 2016. The use of species distribution model to predict the spatial distribution of deforestation in the western Brazilian Amazon. Ecological Modelling, 391: 250-259.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Dolatshahi, A., Rostami, F. and Zahedi Amiri, Gh. 2013. Investigation of Zagros Climatology. The first national conference on environmental hazards in Zagros, Khoram Abad, 30p (In Persian).
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Sarteshnizi, F.T., Saroyi, S., Abbasian, P., Masihpoor, M., Kordrostami, F. and Dirikvandi, A. 2016. Effects of meteorological parameters and evapotranspiration on Zagros forests decline in Lorestan Province. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 13(2): 98-114 (In Persian).
- Beyranvand, A., Attarod, P., Tavakoli, M. and Marvie Mohadjer, M.R. 2015. Zagros forests decline, causes, implications and solutions. Iranian Journal of Forest and Range Quarterly, 106: 17-29 (In Persian).
- Bigler, C., Braker, O.U., Bugmann, H., Dobbertin, M. and Rigling, A. 2006. Drought as an inciting


Archive of SID

www.SID.ir

Natural resources and animal sciences research centre of Ilam province, 26-62 (In Persian).
- Gaziree, M.G. and Ebrahimi Rastaghe, M. 2003. Zagros Forestry. Tehran University Press, Tehran, 560p (In Persian).
- Ghorbanli, M. 2002. Herbal geography. Samt publication, Tehran, 316p (In Persian).
- Guarin, A. and Taylor, A.H., 2005. Drought triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA. Forest ecology and management, 218: 229-244.
- Hastie, T., Tibshrani, R. and Buja, A. 1994. Flexible discriminant analysis by optimal scoring. Journal of the American Statistical Association, 89: 1255–1270.
- Hamzehpour, M., Kia-daliri, H. and Bordbar, K. 2011. Preliminary study of manna oak (Quercus brantii Lindl.) tree decline in Dashte-Barm of Kazeroon, Fars Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(2): 352-363 (In Persian).
- He. Z. and Lo, C. 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logestic regression. Computers, Environment and Urban Systems, 31: 667-688.
- Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M.N., Bui, D.T., Xu. C. and Akgun, A. 2016. Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines. Environmental Earth Science, 75: 40-55.
- Hirzel, A.H. 2002. Ecological niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data Ecology, 83: 2027-2036.
- Khosh Kish, A., Aligani, B. and Hegazi Zade, Z. 2011. Synoptic Analysis of Dust in Lorestan Province. Journal of Applied Geosciences Research, 18(21): 91-110.
- Lopez-Urrea, R., Martina desanta Olalla, F., Fabeiro, C. and Moratalla, A. 2006. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semi-arid climate. Agricultural Water Management, 85: 15-26.
- Mackee, B., Nolan, T., Dooesken, J. and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. Conference on Applied Climatology. Bostun, 15-20 January 1995.
- Mahdavi, A., Mirzaee Zadeh, V., Nick nejad, M. and Karami, O. 2015. Investigation and prediction of decay of oak trees using logistic regression model (Case Study: Bierreh malekshahi-illam forests). Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 13(1): 20-32 (In Persian).
- Marvi Mohajer, M.R. 2011. Silvics and Forestry. Tehran university press, Tehran, 420p (In Persian).
- Mc Cullagh, P. and Nelder, J.A. 1989. Generalized linear models. Chapman and Hall. 511p.

mortality factor in Scots pine stands of the Valais. Switzerland. Ecosystems, 9: 330-343.
- Breiman, L. 1984. Classification and regression trees. Wadsworth international group, belmont, CA, USA.
- Breiman, I. 2001. Random forests. Machine Learning, 45: 5-32.
- Busby, J.R. 1991. BIOCLIM – a bioclimate analysis and prediction system. Plant Protection Quarterly, Australia.
- Carpenter, G., Gillison, A.N. and Winte, J. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants, animals. Biodiversity Conservation, 2: 667-680.
- Das, A.J., Battles, J., Van Mantgemd, P.J. and Stephenson, N.L. 2008. Spatial elements of mortality risk in old-growth forests. Ecology, 89: 1744-1756.
- Das, A.J., Battles, J., Stephenson, N.L. and Van Mantgemd, P.J. 2011. The contribution of competition to tree mortality in old-growth coniferous forests. Forest Ecology and Management, 261: 1203-1213.
- De Souza, R.A., and De Marko, P. 2014. The use of species distribution models to predict the spatial distribution of deforestation in the western Brazilian Amazon. Ecological Modelling, 391: 250-259.
- Dolatshahi, A. 2014. Estimate of sensitivity of reference evapotranspiration to climate change in the vegetative zone of North Zagros. Master's thesis, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Tehran, 108p (In Persian).
- Espadafor, M. Lorite, I.J., Gavilan, P. and Berengena, J. 2011. An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during last 45 years in Southern Spain. Agricultural Water Management, 98: 1045-1061.
- Farber, O. and Kadmon, R. 2003. Assessment of alternative approaches for bioclimatic modelling with special emphasis on the Mahalanobis distance. Ecological Modeling, 160: 115-130.
- Farmer, A. 1993. The effects of dust on vegetation-a review. Environmental Pollution, 79: 63-75.
- Franklin, J. F., Shugart, H.H. and Harmon, M.E. 1987. Tree death as an ecological process. Bioscience, 37: 550-556.
- Friedman, J.H. 1991. Multivariate adaptive regression splines. Annalas of Statistics, 19: 1–67.
- Friedman, J.H. 2001. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. Annalas of Statistics, 29: 1189–1232.
- Fatahi, M. 1995. Wild Pistachio Ecology, Proceedings of the first national seminar (Pearl of Grean),

Archive of SID

www.SID.ir

moisture methods for estimating reference evapotranspiration and air drying effects in Golestan province. Journal of Soil and Water Sciences, 19(2): 280-290 (In Persian).
- Smit, B., Burton, I., Klien, R.J. and Wandel, J. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. Climatic Change, 45: 223-257.
- Stockwell, D. and Peters, D. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial predictions. Geoghraphic information science, 13: 143-158.
- Thagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Yazdian, Gh. 2004. A look at Iran's forests. Publications of Forest and Rangeland Research Institute, Tehran, 56p (In Persian).
- Thabeti, H. 1994. Forests, trees and shrubs of Iran. Yazd university press, Yazd, 875p (In Persian).
- UNESCO, 1979. Map of the world distribution of arid regions: explanatory note. MAP technical notes 7, UNESCO: Paris, 54p.
- Van Mantgemd, P.J., Stephenson, N.L., Byrne, J.C., Daniels, L.D., Franklin, J.F., Fule, P.Z., Harmon, M.E., Larson, A.J., Smith, J.M., Taylor, A.H. and Veblen, T.T. 2009. Widspread increase of tree mortality rates in the Western United States. Science, 5913(323): 521-524.
- Vapnik, V. 1995. The nature of statistical learning theory. Springer, 188p.
- Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S. and Bai, X. 2015. Flood hazard risk assessment model based on random forest. Journal of Hydrology, 527: 1130-1141.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoeghguldberg, O. and Bairlein, F. 2002. Ecological Responses to Recent Climate Change. Nature, 416: 389-395.
- Moravie, M.A. and Robert, A. 2003. A model to assess relationships between forest dynamics and spatial structure. Journal of Vegetation Science, 14: 823-834.
- Nadi, M., Gamee, M., Bazr Afshan, G. and Ganat Rostami, S. 2012. Evaluation of Different Methods for interrogating Monthly and Annual Rainfall Data (Case study, Kuzestan Province). Natural Geagraphy Research, 44(4): 117-130 (In Persian).
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P. and Tapper, N.J. 2014. The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. Aeolian Research, 12: 29-40.
- Ozturk, M., Dogan, Y., Sakcali, M.S., Doulis, A. and Karam, F. 2010. Ecophysiological responses of some maquis (Ceratonia silique L. Olea oleaster Hoffm. & Link, Pistacia lentiscus and Quercus coccifera L.) plant species to drought in the east Mediterranean ecosystem. Journal of Environmental Biology, 31(1-2): 233-245.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231–259.
- Rosenblatt, F. 1958. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychology Revolution, 65: 386.
- Rostami, F., Attarod, P., Sadeghi, S.S.M., Kavalry, M. and Zahedi Amiri, Gh. 2013. Changes in climatic factors and reference evapotranspiration in the Southern Zagros region. the First National Conference on Environmental Hazards in Zagros, Khoram Abad, 10p (In Persian).
- Sharifan, M., Ghahraman, B., Alizadeh, A. and Mir Latifi, M. 2005. Evaluation of radiation and

Archive of SID

www.SID.ir

# Probabilistic prediction of forest decline in Lorestan province using a combined modeling approach

**O. Ghadirian[1], M.R. Hemami[2*], A. Soffianian[1], S. Pourmanaphi[1], M. Malekian[1] and M. Tarkesh[1]**

1- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2*- Corresponding author, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
E-mail: mrhemami@cc.iut.ac.ir

Received: 30/01/2017 Accepted: 12/09/2017

**Abstract**

Identifying forest areas susceptible to decline in order to take preventive measures can play a significant role in inhibiting this phenomenon. Previous studies suggest the high performance of modeling to identify such areas. Hence, we used 15 models to identify forest areas prone to decline in Lorestan province. For modeling, forest areas with over 50% tree mortality were used as dependent variable, and environmental factors including annual mean rainfall, annual mean temperature, relative humidity, aridity index, evapotranspiration, dust storm index, drought index, distance to surface waters and agricultural lands, slope, aspect and NDVI as independent variables were introduced into the models. AUC of each model was multiplied by its output and the mean of these models was considered as the combined model. The forest decline risk map resulted from the combined model indicated a decline trend from central parts of the Lorestan's forests to the south and south-western parts. The Random forest and Support vector machine were recognized as the best models with AUC value of 1 and the Bioclim as the weakest model with AUC of 0.75. According to the combined model, approximately 23.7%, 7.5%, and 19.5% of the studied forests had low, medium, and high risk of decline respectively. The climatic factors including aridity index, rainfall, temperature, and evapotranspiration were the most influencing environmental factors, respectively. The present research, in addition to emphasizing the modeling efficiency in identification of forest areas susceptible to decline, indicated that the combination of models yields better result rather than their separate use.

**Key words:** Zagros forests decline, climate change, adaptive measures, random forest, support vector machine.

Archive of SID

www.SID.ir