

پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع با استفاده از شاخص خشکی کچ-بایرام (مطالعه موردی: استان اصفهان)

ندا عباسی^{۱*}، سعید سلطانی^۱ و رضا جعفری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹)

چکیده

خشکسالی یکی از فاکتورهای مهمی می‌باشد که پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع را افزایش می‌دهد. این مطالعه جهت ارزیابی پتانسیل شاخص رطوبت خاک به نام شاخص خشکی کچ-بایرام در پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استان اصفهان با استفاده از داده‌های روزانه سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ انجام شد، لذا هدف مطالعه حاضر پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع در استان اصفهان می‌باشد. کچ-بایرام یک شاخص خشکسالی-آتش‌سوزی است که دامنه آن صفر، با حداقل میزان کمبود رطوبت خاک و احتمال پتانسیل آتش‌سوزی کم، تا ۸۰۰ با حداکثر کمبود رطوبت خاک و احتمال پتانسیل آتش‌سوزی بالا می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که بخش‌های غربی و ایستگاه سمیرم در جنوب استان دارای کمترین خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی می‌باشند. با توجه به طبقه‌بندی‌های اقلیمی این بخش‌ها در طبقه‌های مرطوب‌تر همانند سرد و مرطوب، سرد استپی و نیمه‌خشک سرد قرار دارند، اما به دلیل پوشش گیاهی بسیار کم این بخش‌های استان، احتمال رخ دادن آتش‌سوزی بسیار کم و در بخش‌های غربی و ایستگاه سمیرم در جنوب استان به دلیل پوشش گیاهی مناسب در صورت بروز خشکسالی شدید احتمال رخ دادن آتش‌سوزی، بسیار زیاد است. در ایستگاه‌های خوانسار، سمیرم، فریدون‌شهر و داران کمترین مقادیر شاخص خشکی کچ-بایرام مشاهده شد. در مجموع، نتایج نشان داد که شاخص کچ-بایرام، شاخص مناسبی جهت پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اصفهان نمی‌باشد و بهتر است در گراس‌لندهای مناطق خشک و نیمه‌مرطوب به کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی، کچ-بایرام، خشکسالی، طبقه‌بندی اقلیمی، استان اصفهان

۱. گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n.abbasi@na.iut.ac.ir

مقدمه

یکی از اثرات مهم و قابل توجه خشکسالی‌ها آماده شدن بستر مناسب جهت ایجاد حریق و آتش‌سوزی در مناطق جنگلی و مرتعی می‌باشد. داده‌های اقلیمی به‌منظور پایش و بررسی روند خشکسالی در کشور این امکان را فراهم می‌کند تا ضمن پایش این روند، مناطق مستعد جهت آتش‌سوزی را شناسایی و اقدامات لازم را جهت مقابله با آن فراهم آورد. در مقیاس جهانی، آتش‌سوزی‌های پوشش گیاهی با انتشار گازها به جو، نقش انکارناپذیری بر روی چرخه‌های اقلیمی دارند. آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نه فقط از دیدگاه محیط زیست بلکه از نقطه نظر اقتصادی و اجتماعی و امنیتی یکی از اصلی‌ترین موضوعات و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد (۶). بیشتر آتش‌سوزی‌ها در مراتعی با وضعیت خوب اتفاق می‌افتد و بیشتر در ترسالی‌ها شاهد حریق‌های غیر عمدی هستیم که در اثر سهل‌انگاری دامداران، روستائیان و طبیعت گردان ایجاد می‌شود (۴).

یکی از حوادث طبیعی و یا انسانی که در کشور ما اتفاق می‌افتد پدیده آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع است. تمام جنبه‌های آتش‌سوزی هزینه‌بر هستند که شامل از دست رفتن دارایی‌ها و آسیب اکولوژیک همانند از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری می‌باشد. پیش‌بینی صحیح و به موقع رویداد آتش‌سوزی می‌تواند این هزینه‌ها را کاهش دهد. یکی از معضلات پیش روی مدیریت مراتع و جنگل‌های استان سیستان و بلوچستان آتش‌سوزی‌هایی است که سالانه خسارات زیست‌محیطی و مالی بالایی را به این استان وارد می‌کند (۵). بنابر آمارهای ارائه شده توسط سازمان منابع طبیعی استان اصفهان، در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در استان اصفهان ۳۹۱ آتش‌سوزی که عمدتاً عمدی بوده، رخ داده است (۲۲). روش‌های متعددی تاکنون به بررسی و ارزیابی خطر آتش‌سوزی پرداختند. برای مثال روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، شاخص نستروف، ضریب تجربی فرانسیلا، شاخص مولگان، شاخص خشکی کچ-بایرام و همین‌طور استفاده از فن‌آوری سنجش از دور از جمله آنها می‌باشد. در میان این روش‌ها، روش تحلیل

سلسله مراتبی در بسیاری از بخش‌های ایران مانند جنگل‌های گلستان، پاوه، ایلام مورد استفاده واقع شده است (۳، ۸، ۹ و ۱۱). در طول سال‌های اخیر در استان گلستان ۱۲۵۴ فقره حریق در سطحی بالغ بر ۱۰۳۰۱ هکتار اتفاق افتاده است. در مطالعه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به بررسی این پدیده پرداختند. در این مطالعه تهیه نقشه نواحی دارای خطر آتش‌سوزی جنگل بر پایه عوامل پوشش گیاهی، فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت منطقه)، اقلیمی (دما و بارندگی)، انسانی (جمعیت) و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها صورت گرفت. معمولاً در مطالعات مختلف به‌کمک روش تحلیل سلسله مراتبی دامنه خطر آتش‌سوزی به پنج کلاس خیلی زیاد تا خیلی کم طبقه‌بندی می‌گردد (۱۰ و ۲).

فن‌آوری سنجش از دور نیز از جمله روش‌های نوینی است که جهت بررسی و ارزیابی پتانسیل آتش‌سوزی و همچنین مشخص نمودن آتش‌سوزی فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲ و ۱۸). در مطالعه‌ای در استان گلستان، به بررسی و پیاده‌سازی الگوریتمی جهت آشکارسازی آتش با استفاده از تصاویر مودیس در سال ۲۰۰۳ برای عرصه‌های منابع طبیعی پرداخته شد. نتایج نشان داد که این الگوریتم توانایی آشکارسازی آتش‌سوزی‌های بزرگ به وقوع پیوسته در عرصه‌های منابع طبیعی را دارد اما آتش‌سوزی‌های کوچک را آشکارسازی نمی‌کند (۷). شاخص خشکی کچ-بایرام (Keetch-Byram Drought Index)، روش دیگری برای بررسی خطر آتش‌سوزی می‌باشد. محتوای رطوبتی خاک در لایه بالایی، تأثیر مهمی بر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع دارد. این شاخص قابلیت اشتعال مواد آلی بالای خاک را نشان می‌دهد. پارامترهای مورد نیاز برای این شاخص عبارتند از دمای حداکثر روزانه، بارش روزانه، متوسط بارش سالانه. این شاخص کمبود رطوبت خاک را در عمق ۸ اینچی (معادل ۲۰/۳ سانتی متری) از سطح خاک برآورد می‌کند. دامنه خشکی خاک در شاخص کچ-بایرام بین صفر (حداقل کمبود رطوبت خاک با احتمال آتش‌سوزی کم) تا ۸۰۰ (حداکثر کمبود رطوبت خاک با احتمال

۶/۴۵ درصد از مساحت کل کشور را به‌خود اختصاص داده است. این استان بین $30^{\circ} 30'$ تا $34^{\circ} 30'$ عرض شمالی و $49^{\circ} 36'$ تا 55° طول شرقی در ایران مرکزی قرار دارد (۱). براساس تقسیم‌بندی اقلیم‌های رویشی پابو، استان اصفهان در فلور ایران و تورانی واقع شده است (۲۱). استان اصفهان دارای $6/3$ میلیون هکتار مرتع، $3/2$ میلیون هکتار بیابان و یک‌صد هزار هکتار جنگل است. به‌عنوان یک قاعده کلی در تمام ایران، میزان بارش در این استان نیز از غرب به شرق کاهش می‌یابد. میانگین سالانه بارش در سطح استان اصفهان معادل 150 میلی‌متر است، 32 درصد استان کمتر از 100 و 50 درصد آن کمتر از 110 میلی‌متر بارش دریافت می‌کند. تنها بارش 5 درصد استان اصفهان بیش از 400 میلی‌متر است. با توجه به وجود ناهمواری‌های استان که در بخش‌های غربی و جنوب غربی استان توزیع شده است، این نواحی دارای درجه حرارت کمتر بوده در حالی که نواحی پست شرقی و شمال‌شرقی استان اصفهان دارای درجه حرارت بالاتری نسبت به نواحی دیگر می‌باشد (۱).

این مطالعه در استان اصفهان و در ایستگاه‌های هواشناسی شامل اصفهان، داران، خوانسار، فریدون‌شهر، خورویبابانک، نطنز، کبوترآباد، گلپایگان، میمه، نجف‌آباد، زرین‌شهر، سمیرم، شهرضا، نایین، کاشان، شرق اصفهان و اردستان می‌باشد. داده‌های مورد نیاز حداکثر دمای روزانه، بارش روزانه و متوسط بارش سالانه از اداره کل هواشناسی استان اصفهان تهیه گردید. مقیاس مطالعه حاضر 10 کیلومتر می‌باشد.

شاخص خشکسالی کچ-بایرام در این مطالعه با استفاده از داده‌های دما و بارش با دوره آماری 5 ساله ($2006-2010$) به‌صورت روزانه و قرار دادن این اطلاعات در رابطه (۱) شاخص KBDI (Keetch-Byram Drought Index) به‌دست آمد و سپس با توجه به مقادیر این شاخص آتش‌سوزی‌های این منطقه مورد بررسی قرار گرفت. تشریح طبقات مختلف این شاخص در 5 گروه یا سطح خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی با توجه به دامنه اعداد در جدول ۱ خلاصه شده است. نقطه شروع برداشت فاکتور خشکی مهم‌ترین بخش محاسبه شاخص است. نقطه صفر ممکن

آتش‌سوزی شدید) می‌باشد (۱۴). در مطالعه‌ای در نواحی جنوب شرقی ایالت کارولینای جنوبی، کارایی شاخص کچ-بایرام برای تعیین پتانسیل آتش‌سوزی به‌صورت روزانه مورد آزمون قرار گرفت. آنها به این نتیجه رسیدند که زمانی که شاخص خشکی کچ-بایرام بالا می‌باشد باید متغیرهایی مثل فعالیت‌های انسانی، سرعت باد و طول دوره خشکی را نیز در نظر گرفت تا به اشتباه هشدار آتش‌سوزی داده نشود (۱۹). شاخص کچ-بایرام در بسیاری از مطالعات تحقیقات آتش‌سوزی و برنامه‌ریزی اقدامات مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و دلیل آن محاسبه روز به روز آن است که منجر به کاهش خطاها در نتیجه‌های نهایی می‌شود (۱۳).

با به‌کارگیری این شاخص می‌توان مناطق مختلف را از نظر پتانسیل آتش‌سوزی بررسی و مناطق با احتمال بالای آتش‌سوزی را مشخص نمود. در نتیجه با مشخص شدن این مناطق به‌کمک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح مناطق دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی، می‌توان از خسارات احتمالی که به این مناطق در اثر آتش‌سوزی، وارد می‌شود، کاست. از جمله مزایای این روش می‌توان به عدم وابستگی به داده‌های میدانی، استفاده از پارامترهای اقلیمی (دما و بارش)، اندازه‌گیری آسان این پارامترها، گام به گام بودن و محاسبات ساده اشاره کرد. لذا در این مطالعه با توجه به مزایای فراوان شاخص کچ-بایرام و عدم پتانسیل‌یابی این روش در بررسی خطر آتش‌سوزی در ایران، به تحلیل کارایی آن در پتانسیل‌یابی آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع در استان اصفهان به‌دلیل پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی آن و همچنین وجود گزارش‌های مختلف آتش‌سوزی در این استان پرداخته شده است. لذا هدف اصلی این مطالعه پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استان اصفهان با استفاده از شاخص خشکی کچ-بایرام می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با وسعت 106179 کیلومتر مربع است، که حدود

جدول ۱. شرایط رطوبتی خاک و پتانسیل آتش‌سوزی (۱۶)

دامنه شاخص خشکی	توصیف گروه خشکی (پتانسیل آتش‌سوزی)
۰-۴/۴۰۶	گروه یک: لایه بالایی خاک و لاشبرگ سطحی خیس می‌باشند، پتانسیل آتش‌سوزی در کمترین مقدار قرار دارد.
۴۰۶/۴-۸۱۲/۸	گروه دو: لایه بالایی خاک و لاشبرگ سطحی مرطوب می‌باشند و در فزونی آتش مشارکت نمی‌کنند. رفتار آتش‌سوزی قابل پیش‌بینی و پتانسیل آتش‌سوزی کم می‌باشد.
۸۱۲/۸-۱۲۱۹/۲	گروه سه: رفتار آتش‌سوزی کمی قابل پیش‌بینی است. پتانسیل آتش‌سوزی در حالت متوسط قرار دارد.
۱۲۱۹/۲-۱۶۲۵/۶	گروه چهار: لاشبرگ سطحی و مواد آلی خاک در آتش‌سوزی مصرف می‌شوند و خرابی زیادی را آتش‌سوزی به‌بار می‌آورد و پتانسیل آتش‌سوزی در این حالت زیاد می‌باشد.
۱۶۲۵/۶-۲۰۳۲	گروه پنج: پتانسیل آتش‌سوزی به شدت بالا می‌باشد.

جهت بررسی شاخص خشکی کچ-بایرام در طبقه‌بندی‌های اقلیمی مختلف، از پنج طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، گوسن، کوپن، آمبرژه و چندمتغیره استفاده گردید.

رطوبت خاک مؤثر می‌باشد. فاکتور خشکی نیز از رابطه ۱ به‌دست می‌آید. در نتیجه در روزهای بارانی با بارش بیش از ۵/۱ میلی‌متر میزان شاخص کاهش می‌یابد. برای مثال اگر بارش برابر ۶ میلی‌متر و شاخص خشکی روز قبل برابر ۶۰۰ باشد، با توجه به این که میزان خشکی در صدم سانتی‌متر بررسی شده، بارش هم برحسب صدم سانتی‌متر می‌باشد، میزان خشکی روز قبل برابر ۵۹۰ می‌شود. پس از محاسبه فاکتور خشکی، عدد ۵۹۰ به آن اضافه می‌گردد و این عدد برابر شاخص خشکی همان روز می‌گردد. در نتیجه عدد به‌دست آمده بیانگر سطح خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی می‌باشد (۱۶، ۱۷ و ۱۹) (جدول ۱).

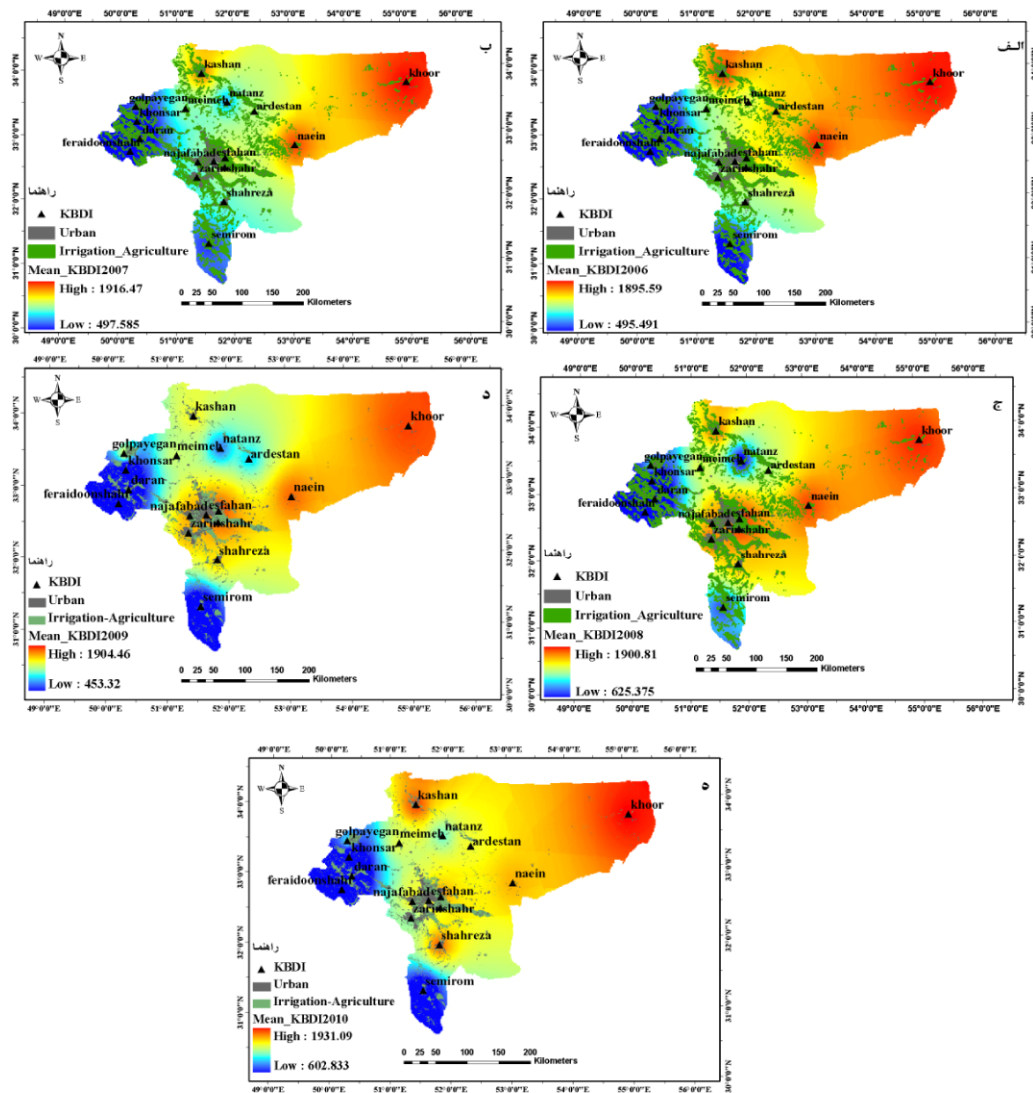
نتایج

در این مطالعه خطر آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها در استان اصفهان با استفاده از شاخص خشکی کچ-بایرام مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌صورت نقشه‌های متوسط سالانه و متوسط دوره آماری ارائه گردید. با توجه به شکل (۱) می‌توان تغییرات متوسط سالانه شاخص خشکی را در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ مشاهده نمود. با توجه به شکل (۱-الف)، در غرب استان اصفهان پتانسیل آتش‌سوزی کم و در مرکز استان پتانسیل آتش‌سوزی متوسط و در شرق استان شدت آن بیشتر می‌باشد. کمترین پتانسیل آتش‌سوزی مربوط به ایستگاه‌های خوانسار،

است هفته‌ها یا ماه‌ها قبل یا حتی سال قبل اتفاق افتد. (این امر مهم است که به زمان عقب برگشت، تا روزی که اطمینان حاصل گردد لایه بالایی خاک در حالت اشباع قرار دارد، سپس برداشت فاکتور را به صورت روزانه شروع تا به تاریخ شروع محاسبه شاخص رسید). در نواحی با بارش برف سنگین، می‌توان فرض کرد که دقیقاً پس از ذوب شدن برف‌ها در بهار خاک در حالت اشباع قرار دارد. در هنگام شروع برداشت در نواحی فاقد برف، باید به زمانی برگشت که بارش باران فراوان است، همانند هفته‌ای که بارش آن ۶ تا ۸ اینچ معادل ۱۵/۲۴ تا ۲۰/۳۲ سانتی‌متر باشد. این شاخص باید در پایان دوره بارش بسیار کم باشد.

$$\Delta Q = [2032 - Q] \times \left[\frac{0.968 \exp(-0.0875T + 1/5552) - 1/30}{0.001 / (1 + 10/88 \exp(-0.01736R))} \right] \Delta t \quad [1]$$

در این رابطه، Δt زمان برابر ۱ روز، ΔQ فاکتور خشکسالی، T حداکثر دمای روزانه، M میانگین بارش سالانه و Q شاخص کمبود رطوبت می‌باشند (۱۶، ۱۷ و ۱۹). هنگامی که نقطه شروع تعیین شد، محاسبه شاخص خشکی برای هر روز بسیار ساده می‌باشد که شامل دو گام است: گام اول کاهش شاخص خشکی با بارش خالص و گام دوم افزایش شاخص خشکی با مقدار فاکتور خشکی محاسبه شده، اگر مقدار بارش را از مقدار ۵/۱ میلی‌متر کسر کنیم، مابقی آن به‌عنوان بارش خالص در نظر گرفته می‌شود و بارش بیشتر از بارش خالص، در افزایش



شکل ۱. نقشه متوسط سالانه شاخص خشکی کج - بایرام استان اصفهان در سال‌های ۲۰۰۶ (الف)، ۲۰۰۷ (ب)، ۲۰۰۸ (ج)، ۲۰۰۹ (د)، ۲۰۱۰ (هـ)

۲۰۰۷ (شکل ۱-ب) کمترین پتانسیل آتش‌سوزی مربوط به ایستگاه‌های گلپایگان، خوانسار، داران، فریدون‌شهر، سمیرم و نظیر است که کمترین میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی مربوط به ایستگاه‌های فریدون‌شهر با سه ماه کاملاً مرطوب با میزان خشکی صفر، سمیرم و خوانسار با دو ماه کاملاً مرطوب با میزان خشکی صفر و داران با یک ماه کاملاً مرطوب با میزان خشکی صفر می‌باشد. شرق استان نیز دارای بیشترین پتانسیل آتش‌سوزی و حداکثر خشکی برابر ۱۹۸۸/۵ در ایستگاه خورویبابانک است. در مرکز استان پتانسیل آتش‌سوزی با میزان

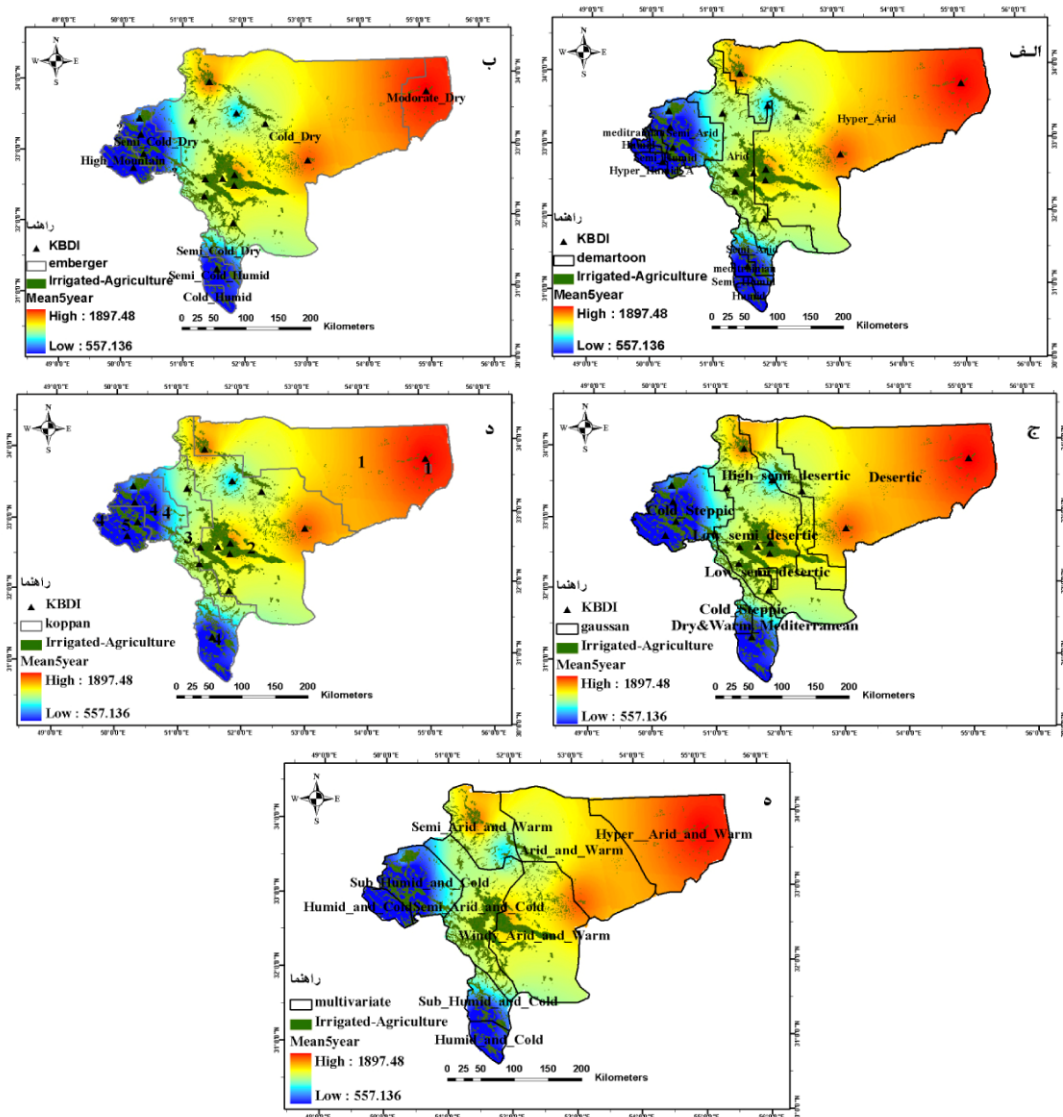
داران، فریدون‌شهر، سمیرم است. ایستگاه خور و بیابانک بیشترین خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی را داراست. در این سال کمترین میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی در ماه‌های ژانویه، فوریه و برابر صفر و ۰/۶ می‌باشد. این مقدار بین اعداد صفر و ۴۱۲/۸ قرار دارد که نشان‌دهنده سطح خشکی ۱، به این معنا که لایه بالایی خاک و لاشبرگ سطحی خیس و پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم است. حداکثر آن نیز در ماه‌های نوامبر و اکتبر به ترتیب در ایستگاه خورویبابانک برابر ۱۹۹۶/۷، ۱۹۹۱/۶ و در ایستگاه کاشان برابر ۱۹۹۱ و ۱۹۸۶/۷ می‌باشد. در سال

نظری افزایش داشته است و میزان خشکی این ایستگاه مشابه ایستگاه شهرضا می‌باشد. کمترین میزان شاخص خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی ماهانه برابر صفر و مربوط به ایستگاه‌های سمیرم، فریدون‌شهر، خوانسار و داران می‌باشد.

در شکل (۲)، پهنه‌بندی اقلیمی متوسط شاخص با دوره آماری ۵ ساله را می‌توان مشاهده نمود (۲۰). همان‌طور که در شکل (۲-الف) مشخص می‌باشد، بنابر طبقه‌بندی اقلیمی دوامرتن، شاخص خشکی کچ-بایرام در اقلیم‌های نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب دارای مقادیر کم تا متوسط می‌باشند. در اقلیم خشک و بسیار خشک نیز نواحی مرکزی و شرقی دارای مقادیر بالای شاخص خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی هستند. البته همان‌طور که در شکل مشخص می‌باشد ایستگاه نظنز در مرکز استان در مرز بین اقلیم خشک و بسیار خشک قرار گرفته و با این وجود از لحاظ خشکی در گروه ۳ قرار می‌گیرد. با توجه به (شکل ۲-ب)، در طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، طبقه‌های نیمه‌خشک سرد، مرطوب سرد، نیمه‌مرطوب سرد، اقلیم ارتفاعات کوهستانی دارای شاخص خشکی کمتری نسبت به دیگر قسمت‌های استان می‌باشند. طبقه اقلیمی خشک سرد در مرکز استان دارای سه گروه ۳ تا ۵ در مرکز، بخش‌هایی از شرق و شمال و همین‌طور بخش‌هایی از جنوب استان می‌باشد. شرق استان نیز در طبقه اقلیمی خشک معتدل قرار دارد که بیانگر گروه ۵، پتانسیل آتش‌سوزی بالا می‌باشد. ایستگاه نظنز در طبقه اقلیمی خشک سرد با ایستگاه‌های مانند کاشان، کبوترآباد و شرق اصفهان قرار گرفته‌است. در طبقه‌بندی اقلیمی گوسن (شکل ۲-ج)، چهار شهرستان واقع در غرب استان در طبقه اقلیمی استپی سرد قرار می‌گیرند که این شهرستان‌ها دارای شاخص خشکی کمی می‌باشند. در جنوب استان ۲ طبقه اقلیمی استپی سرد و اقلیم مدیترانه‌ای گرم و خشک دارای کمترین خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی هستند. اقلیم‌های نیمه‌بیابانی شدید، نیمه‌بیابانی خفیف در مرکز استان قرار دارند نشان‌دهنده شرایط خشکی متوسط در این بخش هستند و ایستگاه نظنز در مرز این دو اقلیم قرار دارد.

متوسط یعنی گروه ۳ می‌باشد. (جدول ۱) با توجه به شکل (۱-ج)، در سال ۲۰۰۸ شرایط خشکی تا مرکز استان جلو آمده‌است. کمترین پتانسیل آتش‌سوزی مربوط به ایستگاه‌های خوانسار، داران، فریدون‌شهر و نظنز است و کمترین میزان بارش در این ایستگاه‌ها، در سال ۲۰۰۸ بوده، که بیانگر خشکسالی سال ۲۰۰۸ در این ایستگاه‌ها می‌باشد. به این ترتیب بالاترین میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی در این ایستگاه‌ها در سال ۲۰۰۸ رخ داده است.

ایستگاه نظنز به دلیل احاطه شدن توسط کوه‌های کرکس با وجود این که در نواحی گرم و خشک قرار دارد، اما شرایط خشکی بسیار کمتر می‌باشد. بیشترین میزان خشکی ماهانه در اکتبر ۲۰۰۸ در ایستگاه‌های شرقی استان نظیر خور و بیابانک و شرق اصفهان و برابر ۲۰۰۲ و ۱۹۸۳/۵ است که در دامنه عددی ۱۶۲۵/۶ تا ۲۰۳۲ قرار دارند و بیانگر پتانسیل آتش‌سوزی به شدت بالا می‌باشد. این ایستگاه‌ها دارای کمترین بارش‌های سالانه بوده‌اند. با توجه به شکل (۱-د)، در سال ۲۰۰۹ کمترین پتانسیل آتش‌سوزی مربوط به ایستگاه‌های خوانسار، داران، فریدون‌شهر، سمیرم می‌باشد که دلیل آن هم بارش‌های مناسب در این سال است. ایستگاه گلپایگان نسبت به سال‌های گذشته پتانسیل آتش‌سوزی بالاتری داشته است. شرق استان و قسمتی از نواحی مرکزی هم‌چنان بالاترین خشکی را دارند. شرایط خشکی در شمال استان نسبت به سال ۲۰۰۸ کمی کاهش یافته است. به دلیل خشکسالی سال قبل تبعات آن در سال ۲۰۰۹ نیز قابل مشاهده است، بدین معنی که در ایستگاه‌های سمیرم، فریدون‌شهر و داران به علت بالا بودن خشکی در نوامبر و دسامبر ۲۰۰۸، میزان خشکی در ژانویه و فوریه ۲۰۰۹ نسبت به سال‌های قبل بالا می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۱-ه) مشخص گردیده است، در سال ۲۰۱۰، ایستگاه‌های خوانسار، داران، فریدون‌شهر و سمیرم دارای کمترین پتانسیل آتش‌سوزی می‌باشند. ایستگاه‌های خور و بیابانک، کاشان، شهرضا و شرق اصفهان بالاترین خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی را دارا هستند و در گروه ۵ قرار دارند. خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی در ایستگاه



شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی اقلیمی شاخص خشکی کچ-بایرام با دوره آماری ۵ ساله در استان اصفهان بوسیله طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (الف)، آمبرژه (ب)، گوسن (ج)، کوپن (د)، چند متغیره (ه)

احاطه شدن توسط کوه‌های کرکس با وجود شرایط مرطوب‌تر در اقلیم بیابانی قرار گرفته است. در این دو اقلیم نیز شرایط خشکی در حد متوسط تا شدید قرار دارند. شرق و بخش‌های شمالی استان، دارای طبقه اقلیمی بیابانی (۱) می‌باشند که شرایط خشکی در آن حداکثر است. در طبقه‌بندی اقلیمی چند متغیره (شکل ۲-ه)، شرق استان به‌طور کامل در طبقه اقلیمی بسیار گرم و خشک قرار می‌گیرد. این طبقه اقلیمی دارای شرایط خشکی بسیار بالایی می‌باشد. طبقه اقلیمی نیمه مرطوب و سرد

البته در بخش‌هایی از مرکز، خشکی شدید نیز مشاهده می‌گردد. بخش اعظم نیمه شرقی استان را هم اقلیم بیابانی در بر می‌گیرد. غرب و قسمتی از جنوب استان با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی کوپن (شکل ۲-د)، دارای اقلیم‌های مدیترانه‌ای (۴) و قاره‌ای مرطوب (۵) می‌باشند. در این دو اقلیم شرایط خشکی نیز کمتر از سایر قسمت‌های استان می‌باشد. بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی و بخش اندکی در شمال غربی استنادارای اقلیم‌های نیمه‌بیابانی (۳) و بیابانی (۲) می‌باشند که ایستگاه نظرنز به‌علت

سراسر جنوب شرقی ایالات متحده جهت فراهم‌سازی نقشه‌های هم‌تراز منطقه‌ای از این شاخص و هم‌چنین نقشه‌های هفته به هفته به‌کار برده شد. نتایج نشان داد که تغییرات فصلی رطوبت در نواحی مختلف بر میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی تأثیر دارد؛ به این معنی که در یک فصل خاص در نواحی مختلف میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی متفاوت است (۱۵). با توجه به نقشه‌ها و هم‌چنین نمودارهای به‌دست آمده در استان اصفهان، این شاخص نیز با توجه به مطالعات بیان شده گویای میزان خشکی در روزها و ماه‌های مختلف سال می‌باشد. با توجه به مطالعه کچ-بایرام، در استان اصفهان نیز در فصل پاییز تا زمان شروع بارش‌های پاییزی، با وجود کاهش دما میزان شاخص به‌صورت محدود افزایش داشته است البته با کاهش شدید دما تا نزدیکی ۱۰ درجه سانتی‌گراد دیگر میزان شاخص افزایش نمی‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در مطالعه جانیس و همکاران، در استان اصفهان نیز تغییرات فصلی رطوبت در نواحی مختلف بر میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی تأثیر دارد و در ایستگاه‌های مختلف میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی متفاوت است (۱۵).

با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ نواحی شرقی و شمالی استان به استثناء ایستگاه نطنز، از میزان خشکی بیشتری برخوردار هستند، در نتیجه میزان پتانسیل آتش‌سوزی آنها بسیار زیاد می‌باشد اما به‌دلیل پوشش گیاهی کم در این مناطق احتمال آتش‌سوزی بسیار کم است. نواحی غربی و ایستگاه سمیرم در جنوب استان، میزان بارش‌ها بیشتر و در نتیجه میزان خشکی و پتانسیل آتش‌سوزی کم، اما به‌علت تراکم بالای پوشش گیاهی در این نواحی در صورت بروز خشکسالی احتمال بروز آتش‌سوزی بسیار زیاد می‌باشد. با توجه به این امر که خشکسالی‌های سال‌های اخیر و کمبود منابع آب در کشور به چالش عمده‌ای تبدیل شده است، یکی از حوادثی که در کشور ما به‌علت خشکسالی‌ها اتفاق می‌افتد پدیده آتش‌سوزی طبیعی جنگل‌ها و مراتع به‌خصوص در شمال کشور می‌باشد. احتمال رخ دادن آتش‌سوزی در بخش‌های غربی و جنوبی استان اصفهان به‌علت

و هم‌چنین سرد و مرطوب در بخش‌هایی از جنوب و غرب استان قرار دارند که بیانگر شرایط مرطوب‌تری نسبت به بخش‌های دیگر می‌باشد. پتانسیل آتش‌سوزی در این مناطق بسیار پایین‌تر از سایر مناطق می‌باشد. مرکز و بخش‌هایی از شرق و جنوب استان را چهار طبقه اقلیمی، نیمه‌گرم و خشک، نیمه‌خشک سرد، گرم و خشک و گرم و خشک بادی در بر گرفته است. شرایط خشکی در این بخش‌ها بسیار متغیر می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مناطق شرقی استان اصفهان با وجود دما و خشکی بالا، امکان رخ دادن آتش‌سوزی به‌علت عدم وجود پوشش گیاهی مناسب بسیار کم می‌باشد. در مناطق غربی استان به‌علت وجود پوشش گیاهی مناسب امکان رخ دادن آتش‌سوزی در شرایط خشکی، زیاد است. با توجه به مطالعه کچ-بایرام، شرایط خشکی زیاد در زمستان و پاییز به‌علت وجود خشکی در زمان تابستان می‌باشد. در نتیجه در برخی نقاط با خشکی غیرمعمول در پاییز و زمستان و دمای تقریباً بالا نیز امکان رخ دادن آتش‌سوزی می‌باشد (۱۶). الکساندر و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که این شاخص روش مناسبی برای تخمین کمبود رطوبت خاک تجمعی در عمق لایه‌های بالایی خاک می‌باشد (۱۴). مطالعه‌ای در آمریکا در سال ۲۰۰۱ تخمین شاخص خشکی کچ-بایرام با استفاده از فن‌آوری‌های GIS و سنجش اذدور در ۶۰ ایستگاه مطالعاتی در تگزاس انجام گردید که نتیجه مطالعه حاکی از وجود همبستگی بین شاخص مذکور و پتانسیل آتش‌سوزی بوده است (۱۷). هم‌چنین در مطالعه‌ای جزایر هاوایی، به بررسی اقلیمی شاخص کچ-بایرام و فعالیت آتش‌سوزی پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده ارتباط قوی بین شاخص خشکی کچ-بایرام و تعداد آتش‌سوزی‌ها در یک مقیاس ماهانه را نشان داد (۱۳). در جنوب شرقی آمریکا، به بررسی پهنه‌بندی شاخص خشکسالی کچ-بایرام پرداخته شد. این الگوریتم برای یک شبکه‌ای از ۲۶۱ ایستگاه هواشناسی در

آتش‌سوزی می‌باشند. با توجه به طبقه‌بندی‌های اقلیمی این بخش‌ها در طبقه‌های مرطوب‌تر همانند سرد و مرطوب، سرد استپی و نیمه‌خشک سرد قرار دارند. اما به‌دلیل پوشش گیاهی بسیار کم در بخش‌های شرقی احتمال رخ دادن آتش‌سوزی بسیار کم و در بخش‌های غربی و ایستگاه سمیرم در جنوب استان به‌دلیل پوشش گیاهی مناسب در صورت بروز خشکسالی شدید احتمال رخ‌دادن آتش‌سوزی بسیار زیاد است بنابراین این مناطق بیشتر از سایر مناطق استان در معرض خطر می‌باشند. با مشخص شدن مناطق بحرانی با استقرار یگان‌های ویژه حفاظتی و با کمک نیروی مردمی می‌توان به حفاظت از این منابع با ارزش طبیعی پرداخت. لذا با توجه به نتایج تحقیق حاضر و مقایسات انجام شده با سایر مطالعات، شاخص پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی کچ-بایرام بیشتر مناسب مقیاس‌های استانی و کشوری می‌باشد. یافته‌های تحقیق حاضر بیانگر آن است که مناسب‌ترین مناطق جهت استفاده از این شاخص مناطق شمالی به‌خصوص شمال شرق کشور می‌باشد. ورودی‌های شاخص کچ-بایرام مانند داده‌های دمایی و بارش می‌تواند از طریق سنجنده‌های انعکاسی و راداری فن‌آوری سنجش از دور فراهم گردد. همچنین این فن‌آوری می‌تواند اطلاعات پوشش گیاهی را از طریق شاخص‌های گیاهی ارائه نماید که می‌تواند در جهت تصحیح و کالیبره کردن شاخص کچ-بایرام و رفع محدودیت‌های آن استفاده شود. لذا پتانسیل‌یابی این فن‌آوری در پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در مقیاس‌های محلی، استانی و ملی پیشنهاد می‌گردد.

پوشش گیاهی مناسب، وجود دارد. البته بیشتر آتش‌سوزی‌های گزارش شده در این شهرستان مربوط به آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی می‌باشند (۱). جهت بررسی خطر آتش‌سوزی با استفاده از داده‌های زمینی شاخص‌های متعددی به‌وجود آمده‌اند. در اغلب این شاخص‌ها دما و بارش دو پارامتر اساسی هستند، که از ایستگاه‌های هواشناسی که اغلب به‌طور پراکنده قرار دارند، به‌دست می‌آیند. محتوای رطوبتی خاک در لایه بالایی خاک، تأثیر مهمی بر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع دارد. شاخص خشکی کچ-بایرام به‌علت وابستگی کم به داده‌های زمینی و همچنین مرحله‌ای بوده محاسبه آن، روش مناسب‌تری در بررسی اثر خشکسالی‌ها در وقوع آتش‌سوزی‌ها دارد (۱۵ و ۱۶)

با توجه به نتایج به‌دست آمده، چهار ایستگاه سمیرم، داران، خوانسار و فریدون‌شهر دارای کمترین شاخص خشکی و از این‌رو دارای کمترین پتانسیل آتش‌سوزی می‌باشند. همچنین ایستگاه‌های خورویابانک، کاشان، نائین، شرق اصفهان و کبوترآباد دارای بالاترین شاخص خشکی می‌باشند. در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ در تمام ایستگاه‌ها در ماه‌های آگوست، سپتامبر و اکتبر شاخص خشکی در بالاترین مقدار بوده است و در برخی ایستگاه‌ها به‌دلیل کمبود بارش در فصل پاییز شاخص خشکی هم‌چنان افزایش داشته ولی دما رو به کاهش است. در نتیجه در پائیز با وجود کم بودن دما، شاخص بسیار بالا می‌باشد و به اشتباه هشدار آتش‌سوزی را بالا نشان می‌دهد. بخش‌های شرقی استان در تمام طبقه‌بندی‌های اقلیمی، در بخش‌های گرم و خشک و بسیار خشک قرار گرفته‌اند. بخش غربی و ایستگاه سمیرم در جنوب استان دارای کمترین خشکی و پتانسیل

منابع مورد استفاده

۱. اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان. ۱۳۹۱. آمار آتش‌سوزی در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰، لوح فشرده.
۲. ادهمی مجرد، م. م. ع. مستوری و ف. هنردوست. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی و تجزیه و تحلیل آن با استفاده از روش فرانسویا. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ایران، ۲-۴ آبان: ۱-۱۲.
۳. پورشکوری، ا. ف. ع. درویش صفت، ف صمدزادگان و ج. سلیماری. ۱۳۹۰. بررسی امکان کشف آتش‌سوزی فعال به وسیله سنجنده

- مودیس. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ایران، ۲-۴ آبان: ۱۱-۱.
۴. پارسایی، ل.، ۱۳۹۰. آتش‌سوزی در مراتع چالاش‌ها و راهکارها. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ایران، ۲-۴ آبان: ۹-۱.
۵. جلیل‌پور، م و س. فرهادی. ۱۳۹۰. مدیریت حریق در جنگلها و مراتع استان چهارمحال بختیاری. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ایران، ۲-۴ آبان: ۷-۱.
۶. رحیمی، ا.، ع. اسماعیلی، ا. توفیقی، ف. محمودی کهنو و م. هانی طبایی. ۱۳۸۹. مدل‌سازی تأثیرات پوشش گیاهی بر پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره مودیس. اولین کنفرانس بین‌المللی گیاه، آب، خاک و هوا: ۱۸-۱.
۷. رحیم‌زادگان، م.، م. زهری، م. طایفی فیجانی، ن. تقی‌زاده، ن. صابری، ع. علی‌محمدی، ا. توکلی و م. اکبری‌ان. ۱۳۹۰. آشکار سازی ماهواره‌ای آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع و طبیعی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ایران، ۲-۴ آبان: ۹-۱.
۸. سرکارگر اردکانی، ع. ۱۳۸۶. بررسی نقش خشکسالی بر آتش‌سوزی جنگل‌های کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه تهران، ایران، ۳۰-۲۹ بهمن.
۹. سلامتی، ح.، ح. مصطفی‌لو، ع. مستوری و ف. هنر دوست. ۱۳۹۰. ارزیابی و تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی با استفاده از GIS در جنگل‌های گلستان. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ۴-۲ آبان، ایران: ۱۰-۱.
۱۰. محمدی، ف.، ن. شعبانیان، م. پورهایمی و پ. فاتحی. ۱۳۸۹. تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاره. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۴): ۵۸۶-۵۶۹.
۱۱. مهدوی، ع.، ر. شمسی، ر. نظری و م. حیدری. ۱۳۹۰. تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در اراضی جنگلی و مرتعی حوزه شهرستان ایلام با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی. اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی گرگان، ۲-۱ آبان: ۱۳-۴.
12. Buchholz, G., and D. Weidemann. 2000. The use of simple fire danger rating systems as a tool for early warning in forestry. *GTZ Integrated Forest Fire Management Project (IFFM)* 23:32-36.
13. Dolling, K., C. Pao-Shin and F. Fujioka. 2005. A climatological study of the Keetch/Byram drought index and fire activity in the Hawaiian Islands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133:17-27.
14. Alexander, E. and E. Martin. 1990. Computer Calculation of the Keetch-Byram Drought Index-Programmers Beware. *Fire Management* 51(4):23-26.
15. Janis, M.J, B. M. Johnson and G. Forthun. 2002. Near-real time mapping of Keetch-Byram drought index in the south eastern United States. *Wild land Fire* 11: 281-289.
16. Keetch, J. and G. M. Byram. 1968. A drought index for forest Fire control. USDA. Forest Service Research Paper S.E. 38: 1-33.
17. Raghavan, S. and. N. Balaji. 2001. Estimation of KBDI (Drought Index) in Real-Time Using GIS and Remote Sensing Technologies. An ASAE Meeting Presentation, 1-10.
18. Veraverbeke, S., S. Harris and S. Hook. 2011. Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing of Environment* 115:2702-2709.
19. Fraisse, C. W, N. E. Breuer. and D. Zierdi. 2010. Drought Decision Support Tool-Introducing Keetch-Byram Drought Index. IFAS Extension, 1-5.
20. Yaghmaei, L, S. Soltani and M. Khodagholi. 2009. Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods. *International Journal of Climatology* 29:1850-1861.
21. Zohary, M. 1973. Geobotanical Foundation of the Middle East. Stuttgart Amesterdam, 2:1-739.
22. <http://adm.icrasn.com/esfahan>.