

توانایی شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های سنجش از دور به منظور شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال بختیاری

- ❖ **علی محمدیان***؛ دانشجوی دکتری علوم مرتع دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
- ❖ **اسماعیل اسدی بروجنی**؛ دانشیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
- ❖ **عطاالله ابراهیمی**؛ دانشیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
- ❖ **پژمان طهماسبی**؛ دانشیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
- ❖ **علی اصغر نقی پور**؛ استادیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

چکیده

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از کم هزینه‌ترین و سریع‌ترین روش‌های ارزیابی مراتع می‌باشد. شاخص‌های گیاهی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش از دوری هستند که جهت نظارت و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی بخصوص در دوره‌های زمانی پس از آتش‌سوزی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی‌شده در مراتع کاربرد فراوان دارند. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت و وسعت مراتع همچنین افزایش آتش‌سوزی‌های سالیان اخیر در مراتع نیمه‌استپی کشور بویژه مراتع استان چهارمحال بختیاری انجام شد. هدف از این پژوهش تفکیک و شناسایی مناطق سوخته‌شده در دوره‌های ۱ تا ۳ سال و ۳ تا ۵ سال پس از آتش‌سوزی با استفاده از شاخص‌های طیفی به منظور اتخاذ برنامه مدیریتی مناسب پس از آتش‌سوزی در این مناطق می‌باشد. پس از محاسبه شاخص‌های طیفی، پارامتر آماری M بمنظور تعیین توان تفکیک‌پذیری مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور محاسبه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که در مراتع نیمه‌استپی کشور به منظور شناسایی و تفکیک محدوده مناطق سوخته‌شده که دارای قدمت ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی می‌باشند کاربرد شاخص‌های طیفی NBRT، NBR و CSI می‌تواند با توجه به کارایی بالا و توانایی مناسب در تفکیک این محدوده‌ها قابل توصیه باشد. همچنین برای شناسایی و تفکیک محدوده‌های سوخته‌شده که قدمت ۳ تا ۵ سال را دارا می‌باشند کاربرد شاخص‌های طیفی T.C. Brightness و NBRT می‌توانند نتایج قابل قبولی را ارائه دهند. شاخص NBRT از بین شاخص‌های مورد بررسی برای هر دو قدمت آتش در مراتع نیمه‌استپی مورد مطالعه بمنظور تفکیک‌پذیری مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور توانایی بالایی داشته و قابل توصیه می‌باشد.

کلید واژگان: تفکیک‌پذیری، چهارمحال بختیاری، شاخص‌های طیفی، منطقه سوخته، نیمه‌استپی

۱. مقدمه

مراتع با تأمین علوفه مورد نیاز دام، حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش، تنظیم گردش آب در طبیعت، تولید محصولات دارویی و صنعتی، تلطیف هوا، حفظ ذخایر ژنتیک گیاهی و جانوری جزو منابع مهم زیست‌بوم به شمار می‌آیند [۱۵]. از طرفی وسعت قابل ملاحظه مراتع که بیش از ۵۲ درصد از سطح کشور را به خود اختصاص می‌دهند و عمده این مراتع در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور واقع شده‌اند، بر اهمیت این منابع پر ارزش می‌افزاید. امروزه برای مدیریت و بهره‌برداری از مراتع باید شناخت دقیقی از اجزای آن‌ها داشت تا واکنش آن‌ها را در مواجهه با آشفته‌گی‌های ناشی از دخالت‌ها و تغییرات گوناگون مطالعه نمود [۳۶]. در این خصوص می‌توان از آتش‌سوزی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد آشفته‌گی در عرصه‌های طبیعی بویژه مراتع اشاره داشت. پایش مراتع و اطلاع از وضعیت آنها پس از آشفته‌گی‌هایی از جمله آتش‌سوزی، از اساسی‌ترین اقدامات مورد نیاز برای شناخت و مدیریت این عرصه‌هاست. در کشور ما هر ساله سطح بسیار وسیعی از مراتع بخصوص مراتع استپی و نیمه‌استپی طعمه حریق می‌شوند. از طرفی آتش‌سوزی مراتع از فراگیرترین عوامل تهدیدکننده منابع طبیعی کشور محسوب شده که بر میکروکلیم، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، پوشش گیاهی و جانوری تأثیر گذاشته و نتایجی همچون جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی، نابودی تنوع زیستی گیاهی و جانوری، آلودگی هوا، تغییر الگوی توالی و منابع گیاهی، فرسایش‌های شدید آبی، بادی، ژنتیکی، تلفات انسانی همچنین زیان مالی به ثروت ملی را به همراه دارد [۳۰].

از طرفی ایران از جمله کشورهایی است که با خطر بالایی از نظر رخداد آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های طبیعی بخصوص مراتع روبرو است. بر همین اساس آتش‌سوزی در عرصه‌های مرتعی کشور به عنوان خطری اکولوژیک از دیدگاه زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و امنیتی از اصلی‌ترین نگرانی‌ها و چالش‌های موجود در کشور

محسوب می‌شود. بنابراین به منظور پیشگیری و مقابله با اثرات مخرب آتش علاوه بر شناسایی مناطق و کانون‌های بحرانی مستعد آتش‌سوزی نیاز به استقرار امکانات لازم اطفاء حریق و تقویت توانمندسازی نیروهای جوامع محلی می‌باشد که این مهم بدون دستیابی به آمار و داده‌های موثق، به‌هنگام و در دسترس میسر نمی‌گردد. لذا در این خصوص جمع‌آوری و تهیه داده‌های جامع و موثق پیرامون رخدادهای آتش‌سوزی در مراتع کشور با توجه به عدم وجود پایگاه اطلاعاتی مناسب، می‌تواند جهت برنامه‌ریزی و مدیریت پس از وقوع آتش‌سوزی در این مناطق بسیار کارگشا و ضروری باشد. به علت وسعت زیاد عرصه‌های مرتعی و صعب‌العبور بودن بسیاری از این مناطق در سطح کشور، استفاده از داده‌های سنجش از دوری می‌تواند کمک بسزایی در جهت تعیین خصوصیات گیاهی، کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در زمان داشته باشد [۱].

در این راستا داده‌های سنجش از دوری یکی از مهم‌ترین ابزارهای توانمندی هستند که به دلیل ارائه داده‌های متنوع از لحاظ اندازه پیکسل، دوره‌های زمانی مختلف و گستردگی زیاد مورد توجه و استفاده بسیاری از محققین می‌باشند. در این راستا، شاخص‌های گیاهی یکی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش از دوری هستند که در ارزیابی بسیاری از جنبه‌های پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال ارزیابی تأثیرات آتش [۴۴]، تولیدات گیاهی [۱۰]، چرای دام [۱۷]، بررسی و پایش نقشه‌های پوشش گیاهی [۱۱]، سیل [۵] و مدل‌سازی اکوسیستم‌ها [۱۲] مورد استفاده قرار گرفته است.

به طور کلی شاخص‌های گیاهی در سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که شامل شیب محور، فاصله محور و تبدیل شده [۳]. شاخص‌های شیب محور، ترکیب ریاضی ساده‌ای هستند که بر تضاد بین الگوی پاسخ طیفی گیاهان در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک در طیف الکترومغناطیسی تمرکز می‌کنند (مانند شاخص NDVI). در مقابل، شاخص‌های فاصله محور،

ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که شاخص‌های NBR و MIRBI در ارزیابی و بررسی شدت آتش‌سوزی و احیای پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی نسبت به سایر شاخص‌های مورد بررسی از قابلیت بهتری برخوردار می‌باشند [۴].

نتایج تحقیقات انجام شده به منظور ارزیابی شاخص‌های طیفی برای شناسایی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده در جنگل‌های از میر ترکیه نشان داد که شاخص‌های NBR2، NDVI و ARVI از بین شاخص‌های مورد بررسی به ترتیب بهترین توانایی جهت شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده از مناطق مجاور را داشتند [۲]. در تحقیقی دیگر، جهت متمایز نمودن مناطق آتش‌سوزی شده با سری‌های مختلف زمانی تصاویر ماهواره‌ای در مناطق ساوانایی از شاخص NDVI بطور موفقیت‌آمیزی در مقایسه با سایر شاخص‌های طیفی استفاده شده است [۳۵]. به طور کلی کاربرد سنجش از دور به منظور مطالعه آتش‌سوزی‌های عرصه‌های طبیعی از نظر شدت آتش‌سوزی و احیای پوشش گیاهی پس از آتش یک روش جدید نیست، به خصوص در عرصه‌های جنگلی و مناطق ساوانایی [۳، ۲۱، ۳۶، ۴۵]. در حال حاضر در زمینه بررسی و امکان شناسایی و تفکیک پوشش گیاهی مناطق سوخته شده مرتعی و جنگلی با استفاده از سنجش از دور به خصوص در مراتع کشور بنظر می‌رسد که مطالعات اندکی انجام شده است. لذا پژوهش حاضر با توجه به اهمیت و وسعت مراتع و افزایش آتش‌سوزی‌های سالیان اخیر در مراتع نیمه‌استپی کشور بویژه مراتع استان چهارمحال بختیاری با هدف تفکیک و شناسایی مناطق سوخته شده بمنظور اعمال مدیریت صحیح پس از آتش‌سوزی در مناطق مذکور در جهت کمک به احیای پوشش گیاهی همچنین تهیه، تکمیل و امکان دسترسی به داده‌های جامع و موثق در این خصوص با توجه به مشکلات موجود بخش اجرا با استفاده از مزایای سنجش از دور انجام شد.

مقدار پوشش گیاهی در هر پیکسل را با استفاده از تفاوت بازتاب هر پیکسل از بازتاب خاک لخت اندازه‌گیری می‌کنند (مانند شاخص MSAVI2) [۳۱]. همچنین شاخص‌های تبدیلی، گروهی دیگر از شاخص‌های گیاهی هستند که با ترکیب باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای، مولفه‌های جدیدی را استخراج می‌کنند که با اجزای مختلف اکوسیستم ارتباط دارند. برای مثال شاخص تبدیل تسلدکپ با ترکیب ۶ باند از تصویر ماهواره‌ای لندست هشت (OLI) سه مولفه‌ی جدید سبزی‌نگی، روشنایی و رطوبت را ایجاد می‌کند [۳]. دانستن اینکه کدام شاخص یک متغیر محیطی را بهتر برآورد می‌کند، از اهمیت خاصی برخوردار است و در این راستا تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است. شاخص‌های طیفی، روش‌های سریع و مقرون به صرفه‌ای را جهت شناسایی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی شده ارائه می‌نمایند [۳۲]. در مطالعات متعدد استفاده از سنجش از دور به منظور تهیه نقشه از مناطق سوخته شده مورد بررسی قرار گرفته است [۳۰]. شاخص‌های طیفی مختلف به طور گسترده‌ای جهت نظارت و ارزیابی رفتار پوشش گیاهی و احیاء دوباره آن پس از آتش‌سوزی و تعیین شدت آتش‌سوزی مناطق، مورد استفاده قرار گرفته است [۶، ۷، ۴۳]. برای مثال نتایج تحقیقات انجام شده با هدف ارزیابی بهترین شاخص‌های سنجش از دور به منظور شناسایی و تفکیک لکه‌های آتش از مناطق مجاور در ایالت یوآنان واقع در شمال غرب چین با داده‌های ماهواره لندست ۸ نشان داد که از بین شاخص‌های مورد بررسی شاخص‌های MIBI، BAI و TC-Green بهترین نتایج را داشتند [۸]. این در حالی است که شاخص‌های NBR و NDMI جهت تفکیک و شناسایی لکه‌های آتش با قدمت یک سال و شاخص‌های TC-Britht و TC-Wet برای لکه‌های آتش با قدمت طولانی‌تر نتایج بهتری را به خود اختصاص دادند. با استفاده از شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در تحقیقی در پارک ملی کانادا شدت آتش‌سوزی در علفزارهای مناطق نیمه‌خشک مورد

۲. روش شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی امکان شناسایی و تفکیک مناطق مرتعی سوخته‌شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال بختیاری انتخاب شد. ابتدا با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود در بخش حفاظت و حمایت اداره کل منابع طبیعی استان و همچنین اطلاعات افراد محلی آگاه و بهره‌برداران، نسبت به انتخاب سایت‌ها و تعیین زمان وقوع آتش‌سوزی‌ها در آنها اقدام گردید (جدول ۱). بدین ترتیب بر اساس تقویم فنولوژیکی گونه‌های معرف منطقه مورد مطالعه، حدوداً از اواسط اردیبهشت تا اواسط خرداد ماه سال ۱۳۹۶ نسبت به ثبت اطلاعات و تعیین محدوده سایت‌های آتش‌سوزی‌شده با پیمایش صحرایی اقدام شد. در مجموع، ۲۷ سایت آتش‌سوزی‌شده بر اساس قدمت آتش (۱ تا ۳ سال و ۳ تا ۵ سال پس از آتش‌سوزی) انتخاب و محدوده‌ی سایت‌ها توسط دستگاه موقعیت‌یاب

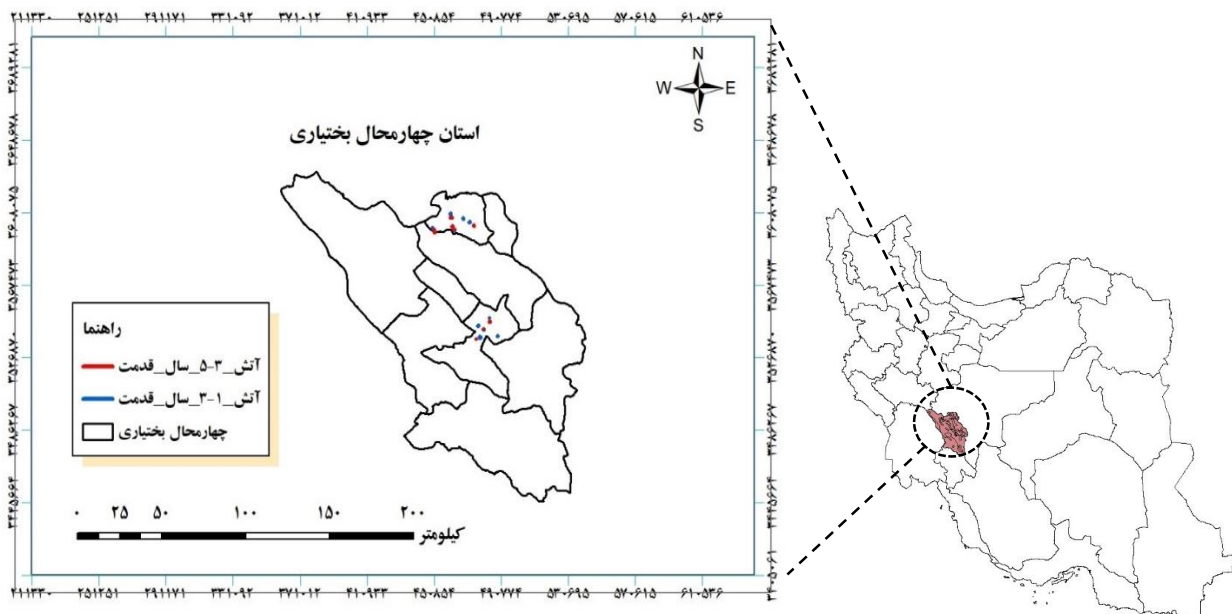
GPS بصورت پلی‌گون ثبت گردید. سپس در کنار هر سایت آتش، منطقه‌ای به عنوان شاهد جهت مقایسه در نظر گرفته شد (شکل ۱).

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

به منظور انجام پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره لندست ۸ اخذ شده از وب سایت <http://www.earthexplorer.usgs.gov> مربوط به منطقه مورد مطالعه و با کمترین میزان ابرناکی و در بهترین زمان بر اساس هدف مورد مطالعه (۱۷ خرداد ۱۳۹۶) استفاده شد. سپس تصحیحات اتمسفریک با استفاده از روش Cost(t) انجام پذیرفت.

۳.۲. شاخص‌های طیفی سنجش از دوری

پس از اخذ تصاویر ماهواره‌ای به منظور بررسی امکان تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور تعداد ۲۰ شاخص مهم طیفی انتخاب و برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید (جدول ۲).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی سایت‌های آتش مورد مطالعه در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال بختیاری و کشور

جدول ۱. لیست مشخصات سایت‌های منتخب آتش‌سوزی در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال بختیاری

نام سایت	تعداد پلی‌گون	تیپ گیاهی	موقعیت جغرافیایی UTM		قدمت آتش: سال
			عرض Y	طول X	
بارده	۴	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch - Annual grass. Annual forb	۳۵۹۹۱۵۵	۴۶۲۲۳۹	۳-۱
تنگ گهرو	۲	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forbs	۳۵۳۸۸۹۱	۴۸۸۶۵۲	۳-۱
چالیاب	۱	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch - Annual grass. Annual forbs	۳۶۰۷۳۴۵	۴۶۰۶۶۸	۳-۱
چزغان ۱	۱	<i>Daphne mucronata</i> Royle- Annual grass. Annual forb	۳۵۴۲۴۸۸	۴۸۰۳۵۹	۳-۱
خراجی	۱	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forbs	۳۵۴۹۱۵۳	۴۸۳۶۶۶	۳-۱
دستنا	۱	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forbs	۳۵۴۴۶۴۹	۴۷۷۰۲۴	۳-۱
سولگان ۱	۱	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch - Annual grass. Annual forbs	۳۵۳۸۲۱۱	۴۷۸۲۶۱	۳-۱
شهرک صنعتی	۱	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forb	۳۵۴۷۰۰۸	۴۸۳۵۵۸	۳-۱
کرسنگ	۲	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forbs	۳۵۹۹۲۴۶	۴۴۹۵۴۱	۳-۱
لارک	۲	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forbs	۳۶۰۲۷۴۳	۴۷۱۹۴۸	۳-۱
شیخ‌شبان امامزاده	۲	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch - Annual grass. Annual forbs	۳۶۰۵۰۷۲	۴۶۱۳۰۵	۳-۵
بارده	۲	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forb	۳۶۰۰۳۴۲	۴۶۱۴۴۰	۳-۵
بن	۱	<i>stragalius verus</i> DC. - Annual grass. Annual forb	۳۶۰۰۶۶۵	۴۷۴۴۰۲	۳-۵
چزغان ۲	۱	<i>Daphne mucronata</i> Royle- Annual grass. Annual forb	۳۵۴۲۷۳۶	۴۸۰۳۷۳	۳-۵
سولگان ۲	۱	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch n - Annual grass. Annual forbs	۳۵۴۲۷۳۶	۴۸۰۳۷۳	۳-۵
شهرک صنعتی	۲	<i>stragalius verus</i> DC. - Annual grass. Annual forb	۳۵۴۷۰۰۲	۴۸۳۵۲۸	۳-۵
کرسنگ	۲	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forbs	۳۵۹۸۴۲۳	۴۵۰۹۶۱	۳-۵

شاخص تفکیک‌پذیری M بیشتر باشد تفکیک مناطق سوخته شده بهتر انجام می‌پذیرد. مقادیر M کمتر از یک نشانگر درجه بالای همپوشانی بین مناطق سوخته شده و نسوخته بوده و به معنی تفکیک نامناسب این دو منطقه از یکدیگر است [۲۲، ۲۳، ۲۸، ۳۷].

$$M = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad \text{معادله (۱)}$$

۱ μ = میانگین ارزش طیفی منطقه سوخته شده

۲ μ = میانگین ارزش طیفی مناطق نسوخته

۱ σ = میانگین انحراف معیار منطقه سوخته شده

۲ σ = میانگین انحراف معیار منطقه نسوخته

۵.۲. تجزیه و تحلیل آماری

پیش از تجزیه و تحلیل داده‌های مورد استفاده، نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها بترتیب با استفاده از

۴.۲. محاسبه و تعیین شاخص تفکیک‌پذیری

مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور

با محاسبه پارامتر آماری M (معادله ۱) می‌توان قدرت و توانایی هر یک از شاخص‌های طیفی در جداسازی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور را تعیین نمود. پارامتر آماری M بیانگر فاصله طیفی بین پیکسل‌های مناطق سوخته شده و نسوخته می‌باشد. پارامتر تفکیک‌پذیری (M) قدرت جداسازی مناطق مذکور را از طریق نسبت تفاضل میانگین (μ) بین شاخص‌های طیفی دو منطقه و مجموع انحراف معیار (σ) آنها محاسبه می‌نماید [۱۸]. در مطالعات متعددی از پارامتر آماری مذکور جهت تشخیص مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور استفاده شده است. مقدار M مساوی یک بیانگر تفکیک خوب بین مناطق آتش‌سوزی شده و مناطق مجاور می‌باشد. در واقع هرچه

گرفت. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به ترتیب با نرم‌افزار SPSS ver. 25 و Excel ver. 2016 انجام پذیرفت.

آزمون‌های کلموگروف اسمیرنوف^۱ و لون^۲ مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی بین مناطق آتش‌سوزی‌شده با قدمت ۱ تا ۳ سال و ۳ تا ۵ سال با استفاده از آزمون T-student test مستقل انجام

جدول ۲. لیست شاخص‌های طیفی محاسبه شده بمنظور بررسی امکان تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور

منبع	فرمول شاخص‌ها	شاخص طیفی	اصطلاح کامل
[۷]	$\frac{1}{(0.1+RED)^2 + (0.06+NIR)^2}$	BAI	Burned area index
[۱۹]	$\frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	NBR	Normalized burned ratio
[۴۲]	$\frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$	NBR2	Normalized Burn Ratio 2
[۴۱]	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
[۳۷]	$\frac{NIR}{SWIR2}$	CSI	Char Soil Index
[۳]	0.3037BLUE+0.2793GREEN+0.4743RED+0.5585NIR+0.5082CIRRUS+0.1863SWIR2	TCB	Tasseled Cap Brightness
[۳]	-0.2848BLUE-0.2435GREEN-0.5436RED+0.7243NIR+0.0840SWIR1-0.1800SWIR2	TCG	Tasseled Cap Greenness
[۳]	0.1509BLUE+0.1973GREEN+0.3279RED+0.3406NIR-0.7112SWIR1-0.4572SWIR2	TCW	Tasseled Cap Wetness
[۴۰]	(10SWIR2)- (9.8SWIR1) + 2	MIRBI	Mid infrared burn index
[۴۶]	$\frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	NDMI	Normalized difference moisture index
[۱۴]	$\frac{NIR - (SWIR2 * THERMAL1)}{NIR + (SWIR2 * THERMAL1)}$	NBRT1	Normalized Burn Ratio Thermal
[۴]	$\frac{RED}{SWIR2}$	SR	Simple Ratio
[۲۵،۴۰]	$\frac{1}{(NIR - 0.05*NIR)^2 + (SWIR2 - 0.2 * SWIR2)^2}$	BAIML	Burned Area Index Modified-LSWIR
[۲۵،۴۰]	$\frac{1}{(NIR - 0.05*NIR)^2 + (SWIR1 - 0.2 * SWIR1)^2}$	BAIMS	Burned Area Index Modified-sSWIR
[۳۸]	$\frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
[۲۴]	$\frac{NIR}{RED}$	VI54	Ratio54
[۲۴]	$\frac{NIR}{SWIR1}$	VI56	Ratio56
[۲۴]	$\frac{SWIR1}{SWIR2}$	VI67	Ratio67
[۳۷]	$\frac{(NIR - RED) * THERMAL1}{(NIR + RED) * THERMAL1}$	NDVIT	NDVI-Thermal
[۲۶]	$\frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$	MSAVI2	Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2

Blue = ۲ باند GREEN = ۳ باند RED = ۴ باند NIR = ۵ باند SWIR1 = ۶ باند SWIR2 = ۷ باند
CIRRUS = ۹ باند THERMAL1 = ۱۰ باند

¹ Kolmogorov-Smirnov

² Levene

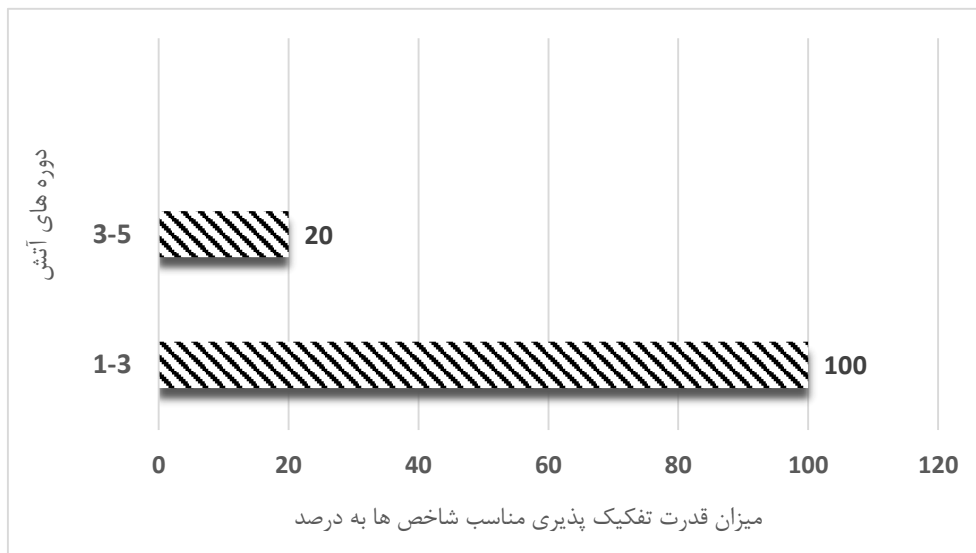
۳. نتایج

۲.۳. تفکیک پذیری مناطق آتش‌سوزی شده از

مناطق مجاور با شاخص‌های آتش

با محاسبه پارامتر آماری (M) که در واقع قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های آتش را نشان می‌دهد و با توجه به این که مقدار این شاخص در صورت مساوی بودن با عدد یک بیانگر میزان تفکیک‌پذیری خوب عملکرد شاخص در جداسازی مناطق آتش‌سوزی از مناطق مجاور می‌باشد همچنین هر چه مقدار این شاخص از عدد یک بزرگتر شود

از قدرت بیشتری جهت مجزا نمودن مناطق آتش از مجاور آن برخوردار است [۲۸]. پس از بررسی نتایج شاخص تفکیک‌پذیری (M) مناطق سوخته‌شده از مناطق نسوخته طبق شکل ۲ مشخص گردید که همه‌ی شاخص‌های آتش مورد بررسی جهت تفکیک مناطق سوخته‌شده در آتش با قدمت ۱ تا ۳ سال (تقریباً ۱۰۰ درصد شاخص‌ها) قابلیت مجزا نمودن این مناطق را از مناطق هم‌جوار دارا می‌باشند. این در حالی است که فقط ۲۰ درصد شاخص‌های مورد بررسی جهت تفکیک‌پذیری مناطق آتش در قدمت ۳ تا ۵ سال قابلیت تفکیک‌پذیری را دارند.



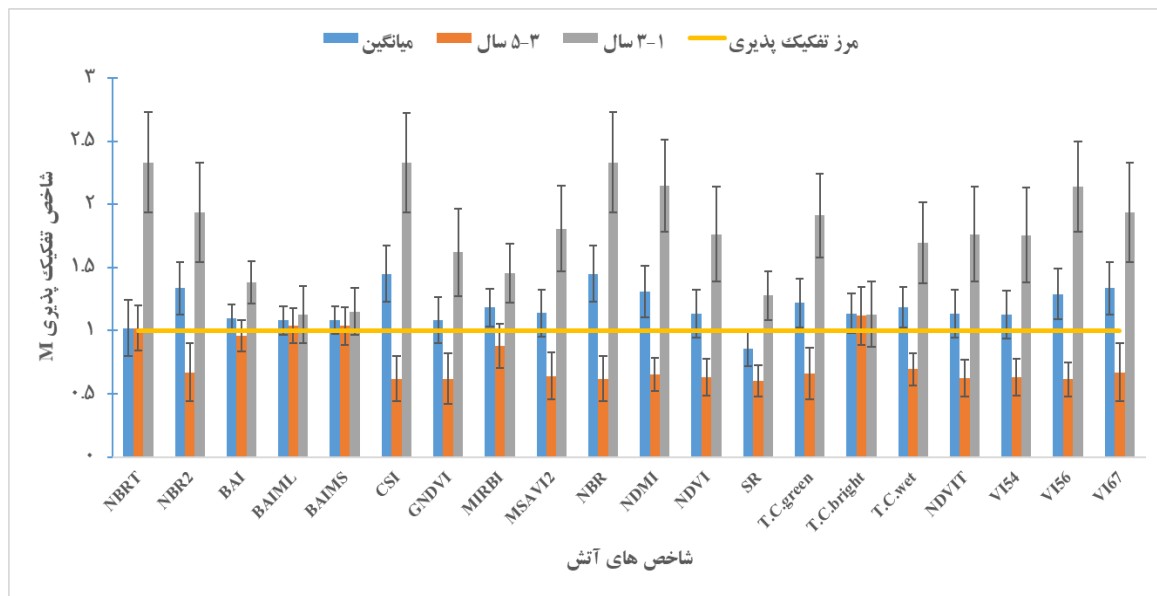
شکل ۲. میزان تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی در دوره‌های مختلف پس از آتش‌سوزی

شاخص‌های آتش مورد بررسی بیشترین قدرت تفکیک‌پذیری را دارند. همچنین طبق نتایج بدست آمده از بررسی تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی به منظور تفکیک مناطق با قدمت آتش ۳ تا ۵ سال، شاخص‌های T.C.Bright، BAIML، BAIMS و NBRT به ترتیب با مقادیر ۱/۱۱۶، ۱/۰۳۸، ۱/۰۳۷ و ۱/۰۱۹ بالاترین قدرت تفکیک‌پذیری را از بین شاخص‌های مورد بررسی به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

۲.۳. تعیین شاخص‌های مناسب تفکیک‌پذیری در

دوره‌های زمانی پس از آتش

بررسی نتایج تفکیک‌پذیری مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور در قدمت آتش ۱ تا ۳ سال با استفاده از پارامتر آماری M نشان می‌دهد که شاخص‌های طیفی NBR2، VI67، VI56، NDMI، NBR، CSI، NBRT و T.C.green به ترتیب با مقادیر ۲/۳۳۲، ۲/۳۲۱، ۲/۳۱۰، ۲/۱۴۷، ۲/۱۴۰، ۱/۹۳۴، ۱/۹۳۱ و ۱/۹۱۱ از بین



شکل ۳. قدرت تفکیک پذیری شاخص‌های طیفی در دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش‌سوزی

تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی بین قدمت‌های آتش وجود دارد. به طوری که شاخص‌های NDVI و VI54 در سطح یک درصد و شاخص‌های CSI، NBR، MIRIB، NDMI، GNDVI، VI56، NDVIT و MSAVI2 در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند (جدول ۲).

۳.۳. مقایسه قدرت تفکیک پذیری شاخص‌ها در

قدمت‌های مختلف آتش

نتایج جدول تجزیه واریانس مقایسات میانگین قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی در دو قدمت ۱ تا ۳ و ۳ تا ۵ سال مناطق سوخته‌شده در سایت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری از نظر قدرت

جدول ۲. تجزیه واریانس مقایسات میانگین مقادیر شاخص‌های مورد بررسی بین مناطق آتش‌سوزی شده با قدمت‌های مختلف و مناطق مجاور

شاخص‌های پوشش گیاهی	تیمار	میانگین و انحراف معیار	t محاسبه شده
BAI	قدمت ۱-۳ سال	۱/۱۹۲ ± ۰/۶۴۳	۱/۰۶۰ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۹۶۰ ± ۰/۴۰۳	
NBR	قدمت ۱-۳ سال	۲/۰۲۲ ± ۱/۱۰۳	۴/۲۷۲*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۲۰ ± ۰/۵۸۹	
NBR2	قدمت ۱-۳ سال	۱/۷۹۵ ± ۱/۰۶۰	۳/۰۲۴ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۷۰ ± ۰/۷۵۴	
NDVI	قدمت ۱-۳ سال	۱/۴۸۰ ± ۱/۱۰۰	۲/۷۲۶**
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۳۰ ± ۰/۴۸۵	
CSI	قدمت ۱-۳ سال	۲/۰۲۱ ± ۱/۰۹۶	۴/۲۹۸*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۱۷ ± ۰/۵۹۰	
T.C.Br	قدمت ۱-۳ سال	۱/۱۵۰ ± ۰/۸۵۰	۰/۱۰۷ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۱/۱۱۶ ± ۰/۷۶۵	

ادامه جدول ۲

شاخص های پوشش گیاهی	تیمار	میانگین و انحراف معیار	t محاسبه شده
T.C.Gr	قدمت ۱-۳ سال	۱/۶۰۳ ± ۱/۰۳۴	۲/۶۵۹ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۶۰ ± ۰/۶۷۰	
T.C.We	قدمت ۱-۳ سال	۱/۵۲۴ ± ۰/۸۹۷	۲/۸۴۲ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۹۳ ± ۰/۴۳۰	
MIRIB	قدمت ۱-۳ سال	۱/۳۹۳ ± ۰/۸۲۷	۱/۸۹۹*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۸۷۷ ± ۰/۵۸۴	
NDMI	قدمت ۱-۳ سال	۱/۷۶۱ ± ۱/۱۱۳	۳/۵۹۲*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۵۳ ± ۰/۴۴۱	
NBRT1	قدمت ۱-۳ سال	۲/۰۲۲ ± ۱/۱۰۳	۳/۸۹۷ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۵۹۴ ± ۰/۶۰۰	
SR	قدمت ۱-۳ سال	۱/۰۳۵ ± ۰/۸۴۱	۱/۵۷۷ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۰۲ ± ۰/۴۰۹	
BAIML	قدمت ۱-۳ سال	۱/۱۱۰ ± ۰/۶۸۲	۰/۳۰۲ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۱/۰۳۹ ± ۰/۴۶۷	
BAIMS	قدمت ۱-۳ سال	۱/۱۱۰ ± ۰/۶۲۱	- ۰/۴۴۸ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۱/۲۶۰ ± ۱/۱۰۹	
GNDVI	قدمت ۱-۳ سال	۱/۴۰۱ ± ۱/۰۱۸	۲/۴۲۴*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۱۸ ± ۰/۶۶۰	
VI54	قدمت ۱-۳ سال	۱/۴۷۳ ± ۱/۱۰۳	۲/۶۹۳**
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۳۰ ± ۰/۴۸۹	
VI56	قدمت ۱-۳ سال	۱/۵۷۵ ± ۱/۰۹۷	۳/۷۶۱*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۱۲ ± ۰/۴۳۶	
VI67	قدمت ۱-۳ سال	۱/۷۹۲ ± ۱/۰۹۷	۲/۹۵۶ ^{ns}
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۷۰۸ ± ۰/۷۱۹	
NDVIT	قدمت ۱-۳ سال	۱/۴۸۰ ± ۱/۱۰۰	۲/۷۴۳*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۲۶ ± ۰/۴۸۳	
MSAVI2	قدمت ۱-۳ سال	۱/۴۸۰ ± ۱/۰۲۸	۲/۶۵۴*
	قدمت ۳-۵ سال	۰/۶۴۱ ± ۰/۶۰۹	

ns عدم معنی‌داری

** معنی‌داری در سطح ۱٪

* معنی‌داری در سطح ۵٪

۴. بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی توانایی شاخص های طیفی سنجش از دوری در تفکیک پذیری مناطق آتش‌سوزی‌شده مراتع نیمه استپی استان چهارمحال بختیاری طی دوره‌های مختلف زمانی پس از وقوع آتش‌سوزی انجام گردید. با توجه به اثرات آتش‌سوزی بر آشکارسازی تغییرات پوشش سطح زمین به‌خصوص

پوشش گیاهی مراتع و قابلیت خصوصیات طیفی باندهای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و نسبت‌گیری بین باندهای طیفی و حرارتی در ارتباط با تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور از شاخص‌های طیفی استفاده شد. مطالعات متعددی پیرامون بکارگیری و مقایسه شاخص‌های طیفی مختلف بمنظور تفکیک‌پذیری و تعیین محدوده‌های آتش‌سوزی‌شده و تعیین دقت و سرعت این شاخص‌ها انجام گرفته است [۱۶]. نتایج

شمال غربی ایالت یوان چین در ارزیابی بهترین شاخص‌های طیفی بمنظور شناسایی لکه‌های آتش در سال‌های پس از آتش‌سوزی بیان می‌دارد که شاخص‌های NBR و NDMI از بین شاخص‌های مورد مطالعه بهترین قابلیت تعیین محدوده‌های سوخته‌شده در بازه زمانی یک سال پس از آتش‌سوزی را داشتند که با نتایج بدست آمده از این پژوهش همخوانی دارد [۸]. نتایج تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که از شاخص‌های NBR و BAI جهت شناسایی مناطق آتش‌سوزی‌شده و پایش تغییرات وضعیت پوشش گیاهی مراتع و جنگل‌ها در دوره‌های زمانی نسبتاً کوتاه مدت پس از آتش‌سوزی استفاده می‌شود [۱۶]. نتایج تحقیقات متعددی که تاکنون در خصوص ارزیابی شاخص‌های طیفی مناسب جهت شناسایی تغییرات پوشش گیاهی مناطق نیمه‌استپی با پوشش غالب بوته‌زار انجام گرفته است نشان می‌دهد که یکی از حساس‌ترین شاخص‌ها در نمایان‌سازی تغییرات پوشش گیاهی در بعد زمان شاخص NDVI می‌باشد که با نتایج تحقیقات حاضر پیرامون تفکیک لکه‌های آتش با قدمت ۱ تا ۳ سال همخوانی دارد [۴۵، ۶]. بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر مشخص گردید که بهترین شاخص‌های طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک و شناسایی مناطق سوخته‌شده با دوره‌های ۳ تا ۵ سال پس از آتش‌سوزی، شاخص‌های Tasseled-Cap-Brightness، NBRT، BAIMS و BAIML می‌باشند. امروزه تحقیقات نشان داده است که کاربرد ترکیبی باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز با طول موج بلند (باندهای حرارتی: TIRS) و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1,2) در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌تواند دقت شناسایی و تفکیک را افزایش دهد [۴۳]. موفقیت‌آمیز بودن کاربرد ترکیبی باندهای مذکور با نتایج این پژوهش در زمینه توانایی بالای شاخص‌های NBRT، BAIML و BAIMS همخوانی دارد. کاربرد تبدیل تسلدکپ در تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده و تعیین شدت آتش‌سوزی در سال‌های پس از آتش‌سوزی

بدست آمده در خصوص تعیین قدرت تفکیک‌پذیری مناطق سوخته‌شده با بیست شاخص‌های طیفی محاسبه شده در این پژوهش نشان می‌دهد که تقریباً بیشتر شاخص‌های طیفی مذکور قادر به تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده در دوره‌های زمانی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی می‌باشند. طبق نتایج بدست آمده از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی شاخص‌های NBR، NDMI، CSI، NBRT، NDVI، VI56 و BAI توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته‌شده عرصه‌های مرتعی از عرصه‌های مجاور در دوره‌های زمانی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشند.

به نظر می‌رسد یکی از دلایل توانایی برخی از شاخص‌های طیفی در قدرت تفکیک‌پذیری بالاتر در قیاس با سایر شاخص‌ها این است که پس از آتش‌سوزی به سرعت بازتاب باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه ۱ و ۲ (SWIR1,2) بترتیب کاهش و افزایش می‌یابند و بر همین اساس برخی از شاخص‌های طیفی مبتنی بر این باندها توانایی تفکیک مناسب مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور را دارا هستند. از طرفی سبزی‌نگی گیاهان تابعی است از عواملی نظیر: میزان سطح برگ، هندسه تاج پوشش، مواد و ترکیبات شیمیایی موجود در اندام‌های گیاهی و مقادیر کلروفیل موجود در اندام‌های گیاهی که هر کدام می‌تواند به نوعی متأثر از آتش‌سوزی باشند و رفتارهای منحصر بفردی را طی دوره‌های زمانی پس از آتش‌سوزی بر حسب نوع گونه گیاهی و شرایط منطقه پس از وقوع آتش را از خود بروز نماید. همچنین با توجه به این که شاخص‌های طیفی گیاهی از محاسبه ریاضی بین دو یا چند تا از باندهای قرمز، مادون قرمز و مادون قرمز کوتاه ۱ و ۲ استفاده می‌نمایند و در محدوده این باندها گیاهان به واسطه وجود کلروفیل بیشترین میزان جذب و بازتاب امواج الکترومغناطیسی را از خود نمایان می‌کنند [۹]. نتایج تحقیقات انجام شده در مراتع مناطق کوهستانی

۳ سال پس از آتش‌سوزی بمراتب کاسته می‌شود. بررسی نقش آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های گیاهی نشان می‌دهد که پس از گذشت یک سال از آتش‌سوزی، تجدید حیات برخی از گونه‌های چوبی دائمی از کنده آغاز گردیده و در سال دوم تمام گونه‌ها رشد یکنواختی داشته‌اند و در سال‌های سوم و چهارم رشد بوته‌ای‌ها افزایش و در سال پنجم پوشش گیاهی شباهت زیادی به مرحله کلیماکس اکوسیستم‌های مدیترانه‌ای پیدا کرده است [۳۹]. بر اساس بررسی نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر می‌توان چنین بیان نمود که در عرصه‌های مرتعی مناطق نیمه‌استپی کشور به منظور شناسایی و تفکیک محدوده مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور که دارای سابقه‌ی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی می‌باشند کاربرد شاخص‌های طیفی NBRT، NBR و CSI می‌تواند با توجه به کارایی بالا و توانایی مناسب در تفکیک این محدوده‌ها قابل توصیه باشد. همچنین برای شناسایی و تفکیک محدوده‌های سوخته شده که قدمت بالاتر از ۳ سال تا ۵ سال را دارا هستند کاربرد شاخص طیفی T.C. Brightness و NBRT می‌توانند نتایج قابل قبولی را ارائه دهند. در پایان توصیه می‌شود در پژوهش‌های آینده از سایر شاخص‌های طیفی و همچنین تصاویر دیگر ماهواره‌های در دسترس جهت تفکیک و جداسازی مناطق آتش‌سوزی با دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش از مناطق مجاور در مراتع با شرایط اکولوژیکی متفاوت استفاده گردد.

در مقایسه با سایر شاخص‌های طیفی مورد بررسی می‌تواند دقت تفکیک‌پذیری بهتری را ارائه نماید. لازم بذکر است که نتایج تحقیقات انجام شده در این خصوص با نتایج پژوهش حاضر در کاربرد شاخص تسلدکپ همخوانی دارد [۲۰]. همانطور که نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد شاخص طیفی Tasseled-Cap-Brightness بخصوص در تعیین محدوده‌ی مناطق آتش‌سوزی‌شده با قدمت‌های نسبتاً زیاد مانند دوره‌های ۳ تا ۵ سال پس از وقوع آتش‌سوزی می‌تواند کاربرد مناسب و قابل قبولی داشته باشد [۱۳].

همچنین شاخص طیفی BAIM جهت شناسایی مناطق سوخته‌شده در مقایسه با سایر شاخص‌های طیفی از توانایی و قابلیت بالاتری برخوردار می‌باشد که نتایج آن هم راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد [۲۵]. نتایج تحقیقات انجام شده در خصوص پایش تغییرات پوشش گیاهی در دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش‌سوزی در عرصه‌های مرتعی بیانگر این نکته است که با گذشت زمان (فصل رویش) پس از آتش‌سوزی بطور کلی پوشش گیاهی تحت تاثیر توالی ثانویه احیا و به طرف شرایط پیش از آتش‌سوزی و مرحله کلیماکس پیش می‌رود، همچنین در صورت مساعد بودن شرایط محیطی و مدیریتی این پیشروی نمایان‌تر شده و عملاً شناسایی محدوده‌های متاثر از آتش‌سوزی دشوارتر می‌شود. بنابراین از توانایی شاخص‌های طیفی جهت شناسایی و تفکیک محدوده‌های آتش در مناطق با دوره‌های ۳ تا ۵ سال در مقایسه با ۱ تا

References

- [1] Ahmadi, M. and Narangifard, M. (2015). Quality assessment and detection of forest area changes using satellite images (Case study: Rustam, Fars). *Journal of RS and GIS for Natural*, 6(3), 87-100.
- [2] Atak, B.K. and Tonyaloglu, E.E. (2020). Evaluating spectral indices for estimating burned areas in the case of Izmir/Turkey. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8(1), 63-73.
- [3] Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T. and Tong, Q. (2014). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5), 423-431.

- [4] Bing, L.u., Yuhong, He. and Alexander, T. (2016). Evaluation of spectral indices for estimating burn severity in semiarid grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 25, 147-157.
- [5] Broich, M., Tulbure, M.G., Verbesselt, J., Xin, Q. and Wearne, J. (2018). Quantifying Australia's dryland vegetation response to flooding and drought at sub-continental scale. *Remote Sensing of Environment*, 212(1), 60-78.
- [6] Chen X., Vogelmann J. E., Rollins M., Ohlen D., Key C. H., Yang L., Huang C. and Shi, H. (2011). Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn index data in a ponderosa pine forest. *International Journal of Remote Sensing*, 32(23), 7905-7927.
- [7] Chuvieco E., Martin M. P. and Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110.
- [8] Fornaca, D., Ren, G. and Xiao, W. (2018). Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China. *Journal of Remote Sens*, 10(8), 4-21.
- [9] Gerard, F., Plummer, S., Wadsworth, R., Sanfeliu, A.F., Iliffe, L., Balzter, H. and Wyatt, B. (2003). Forest fire scar detection in the boreal forest with multitemporal spot-vegetation data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2575-2585.
- [10] Gu, Y. and Wylie, B.K. (2015). Developing a 30-m grassland productivity estimation map for central Nebraska using 250-m MODIS and 30-m Landsat-8 observations. *Remote Sensing of Environment*, 171, 291-298.
- [11] Higginbottom, T.P., Symeonakis, E., Meyer, H. and Van Der Linden, S. (2018). Mapping fractional woody cover in semi-arid savannahs using multi-seasonal composites from Landsat data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139, 88-102.
- [12] Hill, M.J. (2013). Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect. *Remote Sensing of Environment*, 137, 94-111.
- [13] Hislop, S., Jones, S., Soto-Berelov, M., Skidmore, A.K., Haywood, A. and Nguyen, T. (2018). Using Landsat Spectral Indices in Time-Series to Assess Wildfire Disturbance and Recovery. *Remote Sensing*, 10, 2-17.
- [14] Holden, Z., Smith, A., Morgan, P., Rollins, M. and Gessler, P. (2005). Evaluation of novel thermally enhanced spectral indices for mapping fire perimeters and comparisons with fire atlas data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 4801-4808.
- [15] Iranmehr, M., Pourmanafi, S. and Soffianian, A. (2015). Ecological monitoring and assessment of spatial-temporal changes in land cover with an emphasis on agricultural water consumption in Zayandeh Rood Region. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 2(1), 23-28.
- [16] Kavzoglu, T., Erdemir, M.Y. and Tonbul, H. (2016). Evaluating performances of spectral indices for burned area mapping using object-based image analysis. *Proceedings of Spatial Accurac*, 366, 162-168.
- [17] Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H.O., Tsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O. and Wang, S. (2005). Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(1), 83-93.
- [18] Kaufman, Y.J. and Remer, L.A. (1994). Detection of Forests Using Mid-IR Reflectance: An Application for Aerosol Studies. *IEEE transactions on geoscience and Sensing*, 32, 672-683.
- [19] Key, C.H. and Benson, N.C. (2006). Landscape assessment: remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In: Lutes, D.C. (Ed.), FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, USA General Technical Report, RMRS-GTR-164-CD:LA1-LA51.
- [20] Kennedy, R.E., Yang, Z. and Cohen, W.B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr-Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2897-2910.
- [21] Lambin, E.F., Goyvaerts, K. and Petit, C. (2003). Remotely-sensed indicators of burning efficiency of savannah and forest fires. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 3105-3118.
- [22] Lasaponara, R. (2006). Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data. *Ecological Modelling*, 196, 265-270.

- [23] Libonati, R., DaCamara, C.C., Pereira, J.M.C. and Peres, L.F. (2011). On a new coordinate system for improved discrimination of vegetation and burned areas using MIR/NIR information. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1464–1477.
- [24] Llamas, P.G., Seoane, S.S., Guisuraga, J.M.F., Garcia, V.F., Manso, A.F., Quintano, C., Taboada, A., Marcos, E. and Calvo, L. (2019). Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 137–144.
- [25] Martin, M.P., Gomez, I. and Chuvieco, E. (2005). Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data. In: Riva J, Perez-Cabello F, Chuvieco E (eds) *Proceedings of the 5th international workshop on remote sensing and GIS applications to forest fire management: fire effects assessment*, pp 193–198.
- [26] Marshall, G.S. (2005). Drought detection and quantification using field-based spectral measurements of vegetation in semi-arid regions.
- [27] Meng, R., Dennison, P.E., D'Antonio, C.M. and Moritz, M.A. (2014). Remote Sensing Analysis of vegetation recovery following short-interval fires in southern California shrublands. *Journal PLOS ONE* 9(10), e110637.
- [28] Melchiori, A.E., Candido, P., Libonati, R., Morelli, F., Setzer, A., de Jesus, S.C., Garcia Fonseca, L.M. and Korting, T.S. (2015). Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. In *Proceedings of the Anais XVII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR*, Joao Pessoa-PB, Brasil, 25–29 April 2015, pp. 643–650.
- [29] Mohammadian, A., Asadi borujeni, E., Ebrahimi, A.A., Tahmasebi, P. and Naghipour, A.A. (2020). Effect of intraction fire period and intensity grazing on plant species diversity in the semi-steppe rangeland of chaharmahal and bakhtiari province, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(1), 84-97.
- [30] Mitri G. and Gitas, I. (2004). A performance evaluation of a burned area object-based classification model when applied to topographically and non-topographically corrected TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2863-2870.
- [31] Morrison, I.M. (1980). Changes in the ligninand hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity. *Grass Forage Science*, 35, 93-287.
- [32] Mouillot, F., Schultz, M. G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P. and Chuvieco, E. (2014). Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 64-79.
- [33] Rahmani, SH., Ebrahimi, A. and Davoudian, A.R. (2013). Generating a Vegetation Map in Mountainous Region of Sabzkouh Using a Digital Elevation Model. *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 69(3): 621-631.
- [34] Rahman, A.F. and Gamon, J.A. (2004). Detecting biophysical properties of a semiarid grassland and distinguishing burned from unburned areas with hyperspectral reflectance. *Journal of Arid Environments*, 58, 597–610.
- [35] Roy, D.P., Giglio, L., Kendall, J.D. and Justice, C.O. (1999). Multi-temporal activefire based burn scar detection algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1031–1038.
- [36] Sharifi, J. and Akbarzadeh, M. (2010). Investigation of vegetation changes under precipitation in semi-steppic rangelands of Ardebil province (Case study: Arshagh Rangeland Research Site). *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)*, 65(4): 507-516.
- [37] Smith, A.M.S., Drake, N.A., Wooster, M.J., Hudak, A.T., Holden, Z.A. and Gibbons, C.J. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753–2775.
- [38] Taddeoa, S., Dronovaa, I. and Depsky, N. (2019). Spectral vegetation indices of wetland greenness: Responses to vegetation structure, composition, and spatial distribution. *Remote Sensing of Environment*, 234: 1-13.
- [39] Trager, M., Wilson, G.W.T. and Hartnett, D.C. (2004). Concurrent effects of fire regime, grazing and bison wallowing on tallgrass prairie vegetation. *American Midland Naturalist*, 152, 237–247.
- [40] Trigg, S. and Flasse, S. (2001). An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2641–2647.

- [41] Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127–150.
- [42] USGS. (2019). Landsat Surface Reflectance-Derived Spectral Indices. <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-normalized-burn-ratio>.
- [43] Veraverbeke, S., Harris, S. and Hook, S. (2011). Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2702-2709.
- [44] Veraverbeke, S., Dennison, P., Gitas, I., Hulley, G., Kalashnikova, O., Katagis, T., Kuai, L., Meng, R., Roberts, D. and Stavros, N. (2018). Hyperspectral remote sensing of fire: state-of-the-art and future perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 216, 105-121.
- [45] White, J.D., Ryan, K.C., Key, C.C. and Running, S.W. (1996). Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 125–136.
- [46] Wilson, E.H. and Sader, S.A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80, 385–396.