



بررسی اثر آتش سوزی در مراتع بر تغییرات کربن آلی خاک با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور

سمیه ساعتی زارعی، بهناز عطائیان

دریافت: ۵ بهمن ۱۳۹۹ / پذیرش: ۲۳ اسفند ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۱ مهر ۱۴۰۰

چکیده

پیشینه و هدف مراتع جزء آن دسته از زیست‌بوم‌های طبیعی هستند که بخش مهمی از ذخایر کربن خاک را به خود اختصاص داده‌اند و علاوه بر آن به‌عنوان ذخیره ژنتیکی بسیار متنوعی، تضمین‌کننده پویایی اکوسیستم می‌باشند. آتش‌سوزی یک عامل طبیعی در مراتع به شمار می‌رود که طی آن اکثر پوشش‌های طبیعی موجود می‌سوزند. بررسی اثرات مثبت و منفی آتش‌سوزی بر اکوسیستم به‌ویژه بر خصوصیات خاک محققین را بر آن داشته تا به دنبال روش‌های جایگزینی، به‌جای روش‌های مستقیم و میدانی که عموماً بسیار پرهزینه و وقت‌گیر هستند، باشند. از جمله روش‌ها و فناوری‌های نوینی که در زمینه منابع طبیعی بسیار پرکاربرد و مفید هستند می‌توان به سنجش از دور اشاره کرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کوتاه‌مدت آتش‌سوزی بر ذخیره کربن آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مراتع در منطقه گنبد همدان و بررسی قابلیت سنجش از دور در برآورد غیرمستقیم کربن خاک سطحی در مراتع نیمه‌خشک پس از وقوع آتش‌سوزی است.

مواد و روش‌ها در این تحقیق از هر سایت ۲۰ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری (در مجموع ۴۰ نمونه) برداشت شد و با دستگاه GPS مختصات تک‌تک نقاط نمونه‌برداری ثبت گردید. نمونه‌برداری‌ها در فاصله ۱۵ الی ۲۰ روز پس از وقوع آتش‌سوزی در اوایل مهرماه انجام پذیرفت. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری میزان کربن آلی خاک مورد استفاده قرار گرفتند. سپس ارتباط آماری بین مناطق شاهد با مناطق دچار آتش‌سوزی با آزمون t مستقل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین برآورد غیرمستقیم میزان کربن آلی خاک سطحی در دو سایت شاهد و دچار آتش‌سوزی شده و بررسی روند تغییرات آن‌ها با استفاده از سنجش از دور تصاویر ماهواره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور پس از انجام پردازش‌های لازم بر روی داده‌های ماهواره‌ای، مقادیر متناظر بازتاب طیفی هر پیکسل با نقاط نمونه‌برداری در طول موج‌ها و شاخص‌های طیفی مختلف استخراج، و میزان همبستگی و ارتباط رگرسیونی هر یک از آن‌ها با میزان کربن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در بین تمام شاخص‌ها طیفی تنها شاخص HI با کربن آلی خاک در کوتاه‌مدت و در منطقه شاهد همبستگی داشته است. همچنین در بین تمام شاخص‌ها، شاخص‌های BI، NDBI، NDVI، SAVI، VCI و VHI با مقدار EC در سایت شاهد همبستگی داشتند. در سایت شاهد بین اکثر شاخص‌های طیفی و EC خاک همبستگی معنی‌داری وجود

سمیه ساعتی زارعی^۱، بهناز عطائیان^۲ (✉)

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : ataeian94@gmail.com

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>

در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری آتش سوزی تأثیری در میزان کربن آلی خاک نداشته است اما محققین دیگری مشخص کردند ۶ ماه پس از آتش سوزی در خاک‌های سوخته در مقایسه با خاک‌های شاهد میزان کربن افزایش داشته است. مشخص شده است که سه ماه پس از آتش سوزی درصد کربن آلی خاک به صورت معنی داری کاهش داشته است. همچنین در بررسی دیگری بر روی اثر آتش سوزی بر کربن آلی خاک مشخص شده است که در منطقه دچار آتش سوزی نسبت به منطقه شاهد در یک سال و دو سال پس از آتش سوزی میزان کربن آلی خاک کاهش معنی داری داشته است. از آنجاکه اثر آتش سوزی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به شدت تحت تأثیر شدت آتش سوزی، رطوبت خاک، اقلیم و پوشش گیاهی است. لذا تمام این عوامل منجر به حصول نتایج متفاوت در بررسی تأثیر آتش سوزی بر کربن آلی خاک گردیده است. با توجه به شرایط محیطی، اقلیم، شیب منطقه، بافت و ساختمان خاک و عوامل مرتبط با آتش سوزی نظیر شدت و مدت آن، مقدار کربن خاک تغییر کرده است. برای مثال در صورت وقوع آتش سوزی متوسط شرایط برای رویش مجدد پوشش گیاهی سریع تر فراهم گردیده است اما در صورت وقوع آتش سوزی‌های شدید به طور کلی تمام لایه آلی سطح خاک از بین رفته است و به مرور کربن کاهش داشته است. همچنین در بررسی همبستگی بین شاخص‌های طیفی و کربن آلی خاک مشخص گردید تنها شاخص HI با کربن آلی خاک در سایت شاهد معنی دار بوده است اما در سایت دچار آتش سوزی هیچ‌گونه همبستگی مشاهده نشده است. این امر را می‌توان به بررسی طیف طول موج‌های مرئی آبی و سبز در رابطه ریاضی این شاخص بررسی کرد، زیرا تنها در این شاخص از طیف طول موج سبز و آبی استفاده گردیده است. با توجه به نتایج سایر محققین به نظر می‌رسد تخمین کربن آلی خاک با استفاده از سنجش‌ازدور دارای پیچیدگی‌های خاصی است. از آنجاکه کربن آلی خاک با بیشترین تأثیر خود را بر روی رنگ خاک می‌گذارد، لذا اگر مقدار آن کم باشد با استفاده از سنجش‌ازدور امکان تخمین آن ضعیف است.

واژه‌های کلیدی: آتش سوزی، مرتع، کربن آلی خاک، شاخص‌های طیفی، سنجش‌ازدور

داشت که پس از آتش سوزی این همبستگی در سایت آتش سوزی از بین رفته بود. در مورد همبستگی بین pH و شاخص‌های طیفی مشاهده گردید بین برخی از شاخص‌های طیفی و pH همبستگی به وجود آمده است. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که آتش سوزی باعث تغییر بزرگی در میزان انعکاس و انتشار امواج از سطح خاک گردیده است به گونه‌ای که در سایت شاهد شاخص‌ها با EC همبستگی داشتند اما در سایت آتش سوزی همبستگی بین شاخص‌ها و EC به طور کامل از بین رفته است و در عوض بین شاخص‌ها و pH همبستگی ایجاد گردیده است. همچنین هیچ‌یک از شاخص‌های طیفی در فروردین ۱۳۹۶ در سایت شاهد با SOC همبستگی مثبت یا منفی معنی داری نداشتند و نتایج بیانگر این موضوع بود که پس از گذشت شش ماه از وقوع آتش سوزی تغییرات کربن خاک به گونه‌ای نبوده است که بتوان با شاخص‌های طیفی روند آن را بررسی کرد. در مقایسه نتایج مهر ۱۳۹۵ با نتایج فروردین ۱۳۹۶ در سایت شاهد مشخص گردید که پس از گذشت شش ماه شاخص NBR همبستگی معنی داری با میزان EC پیدا کرده است اما شاخص‌های BI و VHI همبستگی خود را از دست داده‌اند. با توجه به بحث صورت گرفته در مورد شاخص NBR و حضور باند SWIR2 در آن به نظر می‌رسد با گذشت شش ماه از وقوع آتش سوزی، در سایت شاهد تغییراتی به وجود آمده که منجر به ایجاد همبستگی بین این شاخص و EC خاک گردیده است. از آنجاکه مقدار انرژی بازتابی از سطح زمین به عوامل متعددی نظیر رطوبت خاک، تغییر محتوی ماده آلی خاک و پوشش سطح وابسته است لذا باید تأثیر این عوامل را در فصل رویش بر روی بازتاب خاک مدنظر قرارداد. عدم تغییر این نتایج پس از گذشت شش ماه می‌تواند این موضوع را به اثبات برساند که اثرات مثبت و منفی آتش سوزی در دوره‌ای کوتاه مدت در حد شش ماه از بین نرفته و زمان طولانی تری برای بازگشت شرایط به حالت طبیعی نیاز است. **نتیجه‌گیری** مطابق با بررسی‌های صورت گرفته مشخص گردید که ذخیره کربن آلی خاک در مراتع آتش سوزی شده با مراتع شاهد دارای تفاوت معنی داری نیست. تغییر شکل و تثبیت مواد آلی خاک در اثر آتش توسط محققین زیادی مورد بررسی و توجه قرار گرفته است اما تبدیل و دگرگونی ماده آلی خاک در اثر آتش سوزی، اغلب منجر به نتایج ناهمگون و متفاوتی گردیده است. مشخص شده است

مقدمه

مراتع یکی از بزرگ‌ترین اکوسیستم‌های جهان هستند که تخمین زده می‌شود بیش از ۵۰ درصد مساحت زمین را مراتع و چراگاه‌ها پوشانده‌اند (۱۵) و محتوی بیش از یک‌سوم ذخایر کربن سطح و زیرزمین می‌شوند (۲۳). مراتع جزء آن دسته از زیست‌بوم‌های طبیعی هستند که بخش مهمی از ذخایر کربن خاک را به خود اختصاص داده‌اند و علاوه بر آن به‌عنوان ذخیره ژنتیکی بسیار متنوعی، تضمین‌کننده پویایی اکوسیستم می‌باشند. مراتع منابع مهم علوفه دام، زیستگاه ضروری حیات وحش، تأمین منابع آب، کنترل فرسایش و در صورت مدیریت صحیح تعدیل‌کننده فعالیت آتش هستند (۲۲). افق آلی خاک به‌عنوان مؤثرترین عامل پایداری اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی، لایه محافظ خاک در برابر فرسایش، تنظیم‌کننده درجه حرارت، فراهم‌کننده رویشگاه و مواد غذایی برای موجودات خاکزی، مکان اصلی معدنی شدن عناصر غذایی، ذخیره‌گاه عناصر غذایی و تنظیم‌کننده تبادل آن‌ها بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها، پایداری ساختمان خاک و تشکیل خاکدانه است (۲۶).

آتش‌سوزی یک عامل طبیعی در مراتع به شمار می‌رود که طی آن اکثر پوشش‌های طبیعی موجود می‌سوزند. آتش‌سوزی با سوزاندن پوشش گیاهی سطح خاک، از مقدار علوفه در دسترس می‌کاهد و می‌تواند موجب اثرات منفی و یا مثبت بر خصوصیات خاک و پوشش گیاهی شود (۱۳). تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و ساختار ترکیب پوشش گیاهی یکی از بارزترین پیامدهای آتش‌سوزی بر روی خاک در اکوسیستم‌های طبیعی از جمله مراتع است (۲۴). تأثیرات غیرمستقیم آتش‌سوزی شامل تغییراتی می‌شوند که وابسته به تغییرات در پوشش گیاهی است. آتش تجمع مواد خشک را تنظیم می‌کند که این امر سبب کنترل شدت سوختگی گردیده و بر تراکم و ترکیب پوشش گیاهی و به دنبال آن بر کیفیت رویشگاه تأثیر می‌گذارد. تأثیرات مستقیم آتش‌سوزی شامل تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش میزان نفوذپذیری خاک سطحی می‌شود (۱۷).

وقوع رواناب و هدر رفت رسوبات بعد از آتش‌سوزی، تا حد زیادی به زمان و مکان بستگی دارد (۱۴). البته مواردی نیز مشاهده شده است که خصوصیات فیزیکی خاک از جمله جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی و بافت خاک، قبل و بعد از آتش‌سوزی ثابت بوده و تغییری نداشته‌اند (۴ و ۲۷).

چگونگی تأثیر آتش‌سوزی بر مقدار ماده آلی خاک دارای تغییرپذیری زیادی است و به عوامل گوناگونی از جمله شدت آتش، درصد رطوبت خاک، نوع خاک، نوع مواد سوختنی و شیب زمین بستگی دارد (۱۰). بیشترین اثر آتش بر خاک، از دست رفتن مواد آلی خاک و افزودن خطر فرسایش در مراحل بعد و همچنین تأثیر بر زادآوری گونه‌های گیاهی و شرایط محیط زیستی است (۱۷). در اثر افزوده شدن خاکستر به خاک، میزان قلیابیت زیاد شده، در نتیجه حلالیت کربن افزایش می‌یابد که این امر منجر به افزایش آبشویی کربن از پروفیل خاک می‌گردد (۱۳). زمان آتش‌سوزی نیز می‌تواند در محتوای کربن خاک بسیار مؤثر باشد. درحالی‌که به نظر می‌رسد آتش‌سوزی‌های یک‌ساله بهاره تأثیری در میزان کربن سطحی خاک ندارند، اما آتش‌سوزی‌های پاییزه و زمستانه منجر به کاهش کربن خاک شده‌اند (۹). در آتش‌سوزی بهاره بقایای باقی‌مانده می‌توانند به‌وسیله موجودات خاکزی تجزیه شده و تا قبل از زمستان به خاک منتقل گردند، اما از طرف دیگر در آتش‌سوزی‌های پاییزه و زمستانه سطح خاک بدون پوشش در معرض قرار می‌گیرد و بقایای موجود دچار فرسایش می‌شوند (۱۳).

بررسی اثرات مثبت و منفی آتش‌سوزی بر اکوسیستم به‌ویژه بر خصوصیات خاک محققین را بر آن داشته تا به دنبال روش‌های جایگزینی، به‌جای روش‌های مستقیم و میدانی که عموماً بسیار پرهزینه و وقت‌گیر هستند، باشند. از جمله روش‌ها و فناوری‌های نوینی که در زمینه منابع طبیعی بسیار پرکاربرد و مفید هستند می‌توان به سنجش‌ازدور تصاویر ماهواره و سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره کرد. اساس سیستم‌های سنجش‌ازدوری بر اندازه‌گیری نوعی از انرژی است که انرژی الکترومغناطیس نامیده می‌شود. این انرژی از طرف اشیاء به سمت سنجنده حرکت می‌کند و توسط سنجنده دریافت

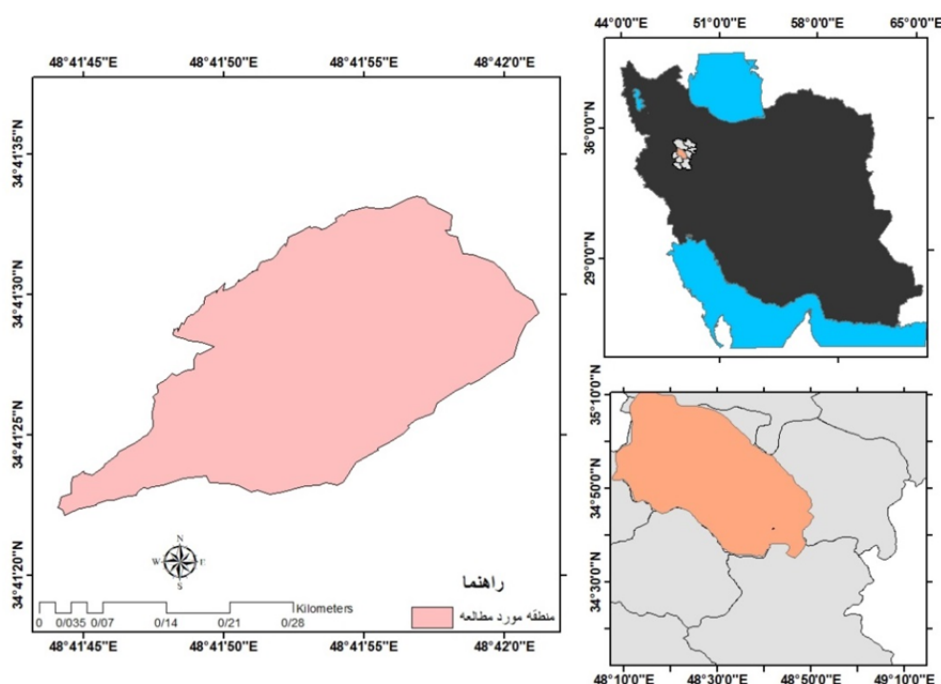
کربن آلی خاک گردیده است. پژوهش حاضر سعی بر این دارد تا با استفاده از سنجش‌ازدور و شاخص‌های مبتنی بر آن تأثیر آتش‌بر کربن آلی، اسیدیته و قلیابیت خاک و همچنین مقایسه تأثیر زمانی آتش‌سوزی بر اکوسیستم مرتعی منطقه صنعتی گنبد در شهرستان همدان را مورد بررسی قرار داده و زمینه مناسبی برای مدیریت این پدیده طبیعی بر اکوسیستم (بخصوص مراتع) فراهم نماید.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از مراتع ناحیه صنعتی گنبد در شهرستان همدان است که فاصله آن از شهر همدان در حدود ۲۵ کیلومتر بوده و مساحت آن برابر با ۴۴۷/۶۹ هکتار است. این ناحیه از دیدگاه مدیریت منابع در بخش جنوبی حوزه آبخیز دشت همدان-بهار و خط‌الراس ارتفاعات الوند و محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه ملایر و تویسرکان واقع گردیده است (شکل ۱). بر اساس اطلاعات ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی سد اکباتان که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مطالعاتی است (ایستگاه سینوپتیک اصلی همدان)، متوسط بارندگی سالانه معادل ۳۲۴/۳ میلی‌متر در طول دوره آماری ۳۰ ساله (از سال ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۳) بوده که متوسط درجه حرارت منطقه نیز برابر ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد است و گرم‌ترین ماه سال مرداد و سردترین ماه سال بهمن ماه است. مجموع متوسط تبخیر سالانه (دوره آماری ۳۰ ساله) در ایستگاه سد اکباتان حدود ۱۸۵۸/۵ و حداکثر سالانه دوره آماری ۲۲۷۶ میلی‌متر نیز است.

گردیده و ثبت می‌گردد (۸). سنجش‌ازدور علاوه بر اینکه مشکل دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن را که لازمه روش‌های زمینی و سنتی است مرتفع ساخته و آن را به حداقل رسانده است، با ایجاد پوشش خوبی از منطقه مورد مطالعه، امکان دید کلی و عام‌تر از آن را فراهم می‌سازد (۶). وقوع آتش‌سوزی در مراتع، تغییر در مقدار مواد آلی و تأثیر بر خصوصیات خاک از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر جذب و انتشار انرژی حرارتی خورشید در سطح زمین تغییر ایجاد کرده و باعث تغییر دمای سطح زمین گردند (۲۱).

اشرفی سعیدلو و رسولی صدقیانی (۱) در پژوهشی اثر آتش‌سوزی بر مقدار کربن خاک و همچنین میزان pH آن را با استفاده از سنجش‌ازدور بررسی کرده و گزارش نمودند میزان آن اندکی افزایش داشته است، همچنین باگذشت زمان اثبات شده است که کربن آلی خاک می‌تواند روندی صعودی داشته باشد. از طرفی دای و همکاران (۵) گزارش نمودند در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری آتش‌سوزی تأثیری در میزان کربن آلی خاک نداشته است. نظری و همکاران (۱۷) نیز مشخص کردند که سه ماه پس از آتش‌سوزی درصد کربن آلی خاک به‌صورت معنی‌داری کاهش داشته است؛ همچنین حیدری و همکاران (۱۲) در بررسی اثر آتش‌سوزی بر کربن آلی خاک با سنجش‌ازدور مشخص کردند که در منطقه دچار آتش‌سوزی نسبت به منطقه شاهد در یک سال و دو سال پس از آتش‌سوزی میزان کربن آلی خاک کاهش معنی‌داری داشته است. از آنجاکه اثر آتش‌سوزی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌شدت تحت تأثیر شدت آتش‌سوزی، رطوبت خاک، اقلیم و پوشش گیاهی است (۲ و ۲۸)، لذا تمام این عوامل منجر به حصول نتایج متفاوت در بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر



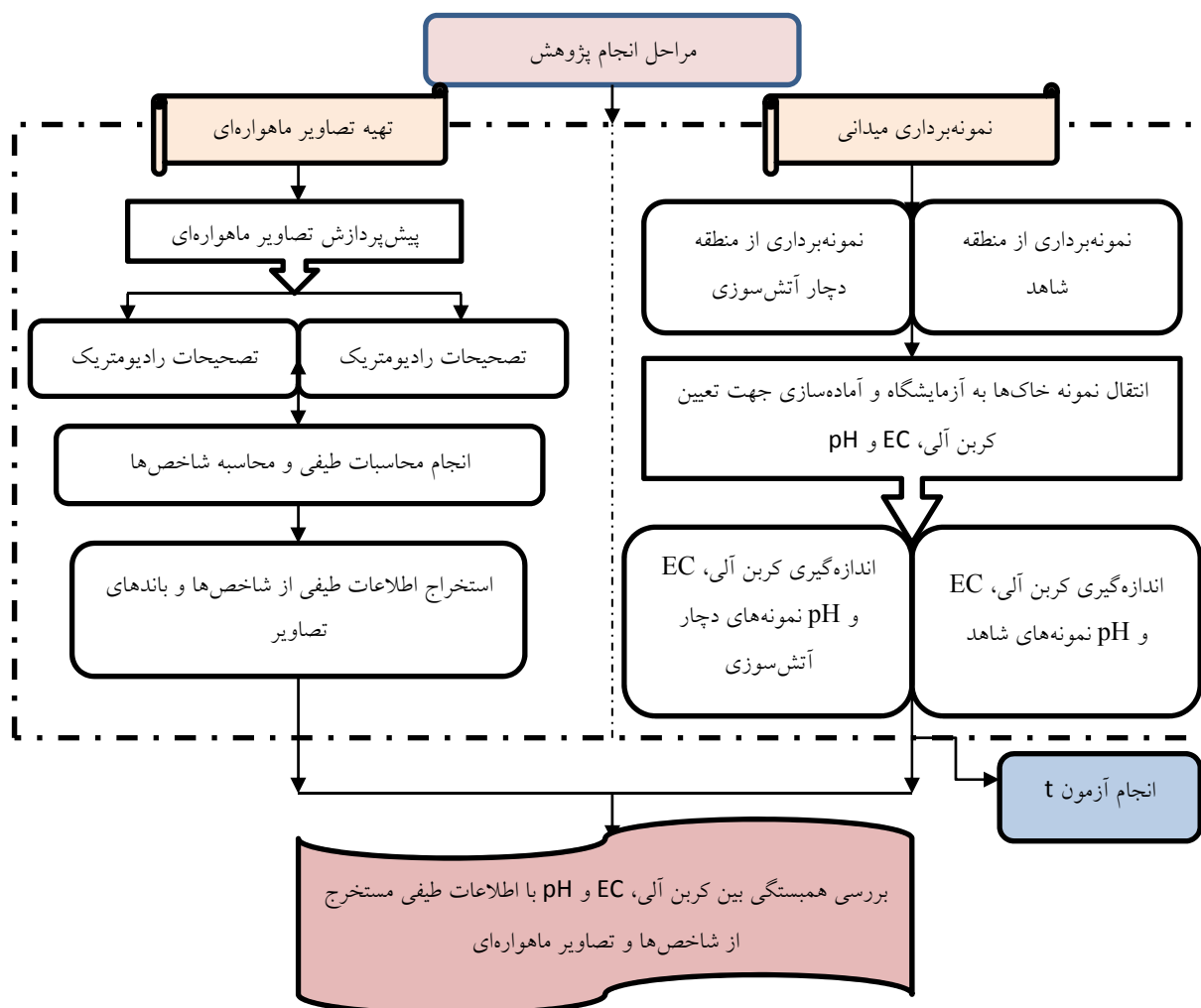
شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی ناحیه صنعتی گنبد (همدان)

Fig. 1. Location of the study area of Gonbad industrial area (Hamedan)

روش تحقیق

تحقیق انجام شده به منظور بررسی تغییرات کربن آلی خاک در دو سایت شاهد (بدون آتش سوزی) و دچار آتش سوزی در مراتع منطقه گنبد شهرستان همدان است. به همین دلیل از هر سایت ۲۰ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی متری (در مجموع ۴۰ نمونه) برداشت و با دستگاه GPS مختصات تک تک نقاط نمونه برداری ثبت گردیدند. نمونه برداری ها در فاصله ۱۵ الی ۲۰ روز پس از وقوع آتش سوزی در اوایل مهرماه انجام پذیرفت. نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه جهت اندازه گیری میزان کربن آلی خاک با روش و الکی بلک مورد آزمایش قرار گرفتند (۱۹). همچنین به منظور اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک (EC) در شرایط گل اشباع از دستگاه EC متر و از دستگاه pH متر در شرایط گل اشباع برای اندازه گیری اسیدیته نمونه ها استفاده گردید.

سپس ارتباط آماری بین مناطق شاهد با مناطق دچار آتش سوزی با آزمون t مستقل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین برآورد غیرمستقیم میزان کربن آلی خاک سطحی در دو سایت شاهد و دچار آتش سوزی شده و همچنین بررسی روند تغییرات آن ها با استفاده از سنجش از دور تصاویر ماهواره ای مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور پس از انجام پردازش های لازم بر روی داده های ماهواره ای، مقادیر متناظر بازتاب طیفی هر پیکسل با نقاط نمونه برداری در طول موج ها و شاخص های طیفی مختلف استخراج و میزان همبستگی و ارتباط رگرسیونی هر یک از آن ها با میزان کربن با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمودار مراحل اجرای این پروژه در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. نمودار روند پژوهش

Fig. 2. Flow chart of the research methodology

زمانی مناسب، دارای پوشش کاملی از سطح زمین بوده و برای پایش مطالعات مرتبط با منابع طبیعی کاملاً مناسب است. همچنین داده‌های مرتبط با کربن آلی، pH و EC خاک پس از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تعیین گردیده و مورد بررسی قرار گرفتند.

داده‌های مورد نیاز

به منظور بررسی تغییرات کربن آلی خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های تصاویر لندست ۸ از وبسایت <http://www.earthexplorer.usgs.gov> تهیه گردیدند (جدول ۱) و پس از پردازش‌های لازم مورد استفاده قرار گرفتند. ماهواره لندست به دلیل قدرت تفکیک رادیومتریک، مکانی و

جدول ۲. مشخصات تصاویر لندست ۸ در منطقه مورد مطالعه ناحیه صنعتی گنبد

Table 2. Landsat 8 images characteristics of the study area of Gonbad industrial area

ماهواره	سنجنده	مسیر عبور	ردیف	تاریخ شمسی ثبت تصویر	تاریخ میلادی ثبت تصویر
لندست ۸	OLI-TIRS	۱۶۶	۳۶	۱۷ مهر ۱۳۹۵	8 October 2016
لندست ۸	OLI-TIRS	۱۶۶	۳۶	۲۹ فروردین ۱۳۹۶	18 April 2017
لندست ۸	OLI-TIRS	۱۶۶	۳۶	۲۰ مهر ۱۳۹۶	11 October 2017

گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجاکه پوشش گیاهی و بقایای آن اثر مستقیم بر خاک و به‌ویژه میزان کربن آلی خاک دارد، لذا می‌توان با استفاده از شاخص‌های گیاهی و سنجش‌ازدور برآورد مستقیمی از میزان پوشش گیاهی و متعاقباً به‌صورت غیرمستقیم برآوردی از کربن خاک به دست آورد. شاخص‌های طیفی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۲)، به دلیل بهره بردن از طیف مادون‌قرمز نزدیک و مؤثر بودن آن در شناسایی مواد آلی خاک و پوشش گیاهی (۶ و ۲۷)، و همچنین طیف نور مرئی شامل قرمز، سبز و آبی در تخمین کربن آلی خاک (۲۰ و ۲۳)، مورد استفاده گفتند. همچنین نوع روابط و محاسبات طیفی مورد استفاده در شاخص‌ها، بخصوص تقسیم تصاویر که به‌ویژه به‌منظور بارزسازی تفاوت‌ها توسعه‌یافته‌اند، مورد استفاده قرار گرفتند.

پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور تصاویر خام سنجش‌ازدوری همیشه دارای خطاهایی در مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها می‌باشند که به‌منظور حذف خطاهای رادیومتریکی و اتمسفری تصاویر لندست ۸، با استفاده از فایل متادیتا هر تصویر، مقادیر درجات خاکستری در محیط نرم‌افزار ENVI به مقادیر انعکاسی بالای اتمسفر تبدیل شدند. ماهواره لندست به دلیل قدرت تفکیک رادیومتریکی، مکانی و زمانی مناسب، دارای پوشش کاملی از سطح زمین بوده و برای پایش مطالعات مرتبط با منابع طبیعی کاملاً مناسب است. در بسیاری از موارد استفاده از باندهای اصلی تصویر برای استخراج اطلاعات موردنظر کافی نیستند و باید پردازش‌های مختلفی روی آن‌ها صورت گیرد. شاخص‌های گیاهی در سنجش‌ازدور، آن دسته از شاخص‌ها هستند که بر اساس میزان بازتاب طیفی پدیده بر روی سطح زمین و برای تفکیک پوشش

جدول ۲. مشخصات شاخص‌های طیفی

Table 2. Spectral Indices characteristics

منبع	معادله	نام کامل شاخص	نام شاخص
(۸)	$NIR - RED / NIR + RED$	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI
(۸)	$(L + 1) \times NIR - RED / NIR + RED - L$	Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI
(۶)	$\sqrt{RED^2 + NIR^2}$	Brightness Index	BI
(۶)	$TIR - NIR / TIR + NIR$	Normalize Difference Brightness Index	NDBI
(۲۰)	$eta(1 - 0.25eta) - \left\{ \frac{RED - 0.125}{1 - RED} \right\}$ $eta = \{2(NIR - RED) + 1.5NIR + 0.5RED\} / (NIR - RED - 0.5)$	Global Environmental Monitoring Index	GEMI
(۲۵)	$NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min}$	Vegetation Condition Index	VCI
(۲۵)	$LST_{max} - LST / LST_{max} - LST_{min}$	Temperature Condition Index	TCI
(۲۵)	$aVCI + (1 - a)TCI$	Vegetation Health Index	VHI
(۷)	$NIR - SWIR2 / NIR + SWIR2$	Normalized Burned Ratio	NBR
	$(2 * RED - Green - Blue) / (Green - Blue)$	Hue Index	HI

نتایج

به منظور بررسی‌های آماری تأثیرات آتش سوزی بر پارامترهای خاک، نرمال بودن داده‌های خام حاصل از تصاویر سنجنش‌ازدوری با از آزمون شاپیرو ویلک در نرم‌افزار SAS مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج نشان دادند که در هر سه متغیر کربن آلی خاک، pH و هدایت الکتریکی خاک در هر دو سایت شاهد و آتش سوزی شده نرمال بوده و مقادیر p-value بیش از ۰/۰۵ را نشان داده است. به عبارت دیگر مقادیر داده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و بدون نیاز به نرمال‌سازی داده‌ها می‌توان از آن‌ها در آزمون t استفاده نمود.

پس از نمونه‌برداری از خاک و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، مقادیر کربن آلی، pH و EC هر یک از نمونه خاک‌ها استخراج شده و پس از محاسبه شاخص‌ها، مقادیر درجات خاکستری هر شاخص، متناظر با نقطه برداشت زمینی آن نیز در نرم‌افزار ArcMap استخراج گردیده و داده‌ها همگی در یک فایل اکسل ذخیره شدند. سپس نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک در نرم‌افزار SAS استفاده گردید.

جدول ۳. **Error! No text of specified style in document.** آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها

Table 3. Shapiro-Wilk test for normality test of the data

متغیر	p	انحراف معیار	میانگین	تعداد نمونه
شاهد SOC	۰/۰۶	۳/۳۷	۸/۹۱	۲۰
آتش سوزی SOC	۰/۱۵	۴/۸۹	۱۰/۸۷	۲۰
شاهد pH	۰/۱۵	۰/۳۲	۷/۷۸	۲۰
آتش سوزی pH	۰/۱۵	۰/۲۲	۷/۹۸	۲۰
شاهد EC	۰/۱۵	۰/۴۴	۱/۶۳	۲۰
آتش سوزی EC	۰/۱۵	۰/۳۹	۱/۷۷	۲۰

آتش سوزی تغییر معنی‌داری در میزان کربن آلی خاک در سایت دچار آتش سوزی نسبت به سایت شاهد در کوتاه‌مدت ایجاد نکرده است.

نتایج آزمون آماری t مستقل دو منطقه شاهد و دچار آتش سوزی نشان می‌دهد (جدول ۴) که تفاوت معنی‌داری در میزان کربن آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک در دو منطقه وجود ندارد ($p > 0/05$)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که

جدول ۴. نتایج آزمون t مستقل کربن آلی خاک در دو سایت مطالعاتی ناحیه صنعتی گنبد

Table 4. Results of independent soil organic carbon t-test of two study sites of Gonbad industrial area

متغیر	p > t	T Value	درجه آزادی	واریانس‌ها
pSOC	۰/۱۴۷۴	-۱/۴۸	۳۸	برابر
pSOC	۰/۱۴۸۴	-۱/۴۸	۳۳/۷	نا برابر
EC	۰/۳۴۲۰	-۰/۹۶	۳۶	برابر
EC	۰/۳۳۹۱	-۰/۹۷	۳۶	نا برابر
pH	۰/۰۳۳۴	-۲/۲۱	۳۸	برابر
pH	۰/۰۳۴۲	-۲/۲۱	۳۳/۵	نا برابر

به منظور بررسی میزان همبستگی بین شاخص‌های طیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک، از روش همبستگی پیرسون مربوط به تصاویر زمان نمونه‌برداری از عرصه در کوتاه‌مدت و استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵. همبستگی پیرسون شاخص‌های طیفی در مهر ۱۳۹۵ و پارامترهای خاک

Table 5. Pearson Correlation of spectral indices in October 2016 and soil parameters

سایت آتش‌سوزی شده			سایت شاهد			
pH	EC	SOC	pH	EC	SOC	
۰/۰۳۲	۰/۵۴۰*	۱/۰۰	۰/۳۰۵	۰/۱۹۷	۱/۰۰**	SOC
-۰/۰۰۷	۱/۰۰	۰/۵۴۰*	۰/۴۱۹	۱/۰۰**	۰/۱۹۷	EC
۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۳۲	۱/۰۰**	۰/۴۱۹	۰/۳۰۵	pH
۰/۵۴۶*	۰/۲۱۷	-۰/۰۰۲	۰/۲۶۸	۰/۴۷۴*	-۰/۱۱۹	BI
۰/۴۵۲*	۰/۲۸۵	۰/۰۶۱	۰/۲۶۵	۰/۵۳۸*	-۰/۲۱۱	GEMI
-۰/۰۶۹	-۰/۱۴۹	-۰/۱۷۵	۰/۱۶۱	۰/۲۴۱	-۰/۱۳۷	NBR
-۰/۴۲۰	-۰/۲۴۹	-۰/۰۰۲	-۰/۲۷۳	-۰/۵۰۳*	۰/۱۵۳	NDBI
۰/۳۵۲	۰/۳۷۱	۰/۱۶۳	۰/۲۱۷	۰/۵۲۴*	-۰/۳۰۳	NDVI
۰/۳۵۲	۰/۳۷۱	۰/۱۶۳	۰/۲۱۷	۰/۵۲۴*	-۰/۳۰۳	SAVI
-۰/۴۶۴*	۰/۱۹۹	-۰/۰۷۲	۰/۰۲۷	۰/۱۵۴	-۰/۲۲۸	TCI
۰/۳۵۲	۰/۳۷۱	۰/۱۶۳	۰/۲۱۷	۰/۵۲۴*	-۰/۳۰۳	VCI
۰/۳۲۹	۰/۳۷۵	۰/۱۵۸	۰/۲۱۶	۰/۵۲۳*	-۰/۳۰۴	VHI
۰/۲۷۹	۰/۸۷۳	۰/۹۵۴	۰/۰۷۵	-۰/۰۲۰	-۰/۴۴۵*	HI

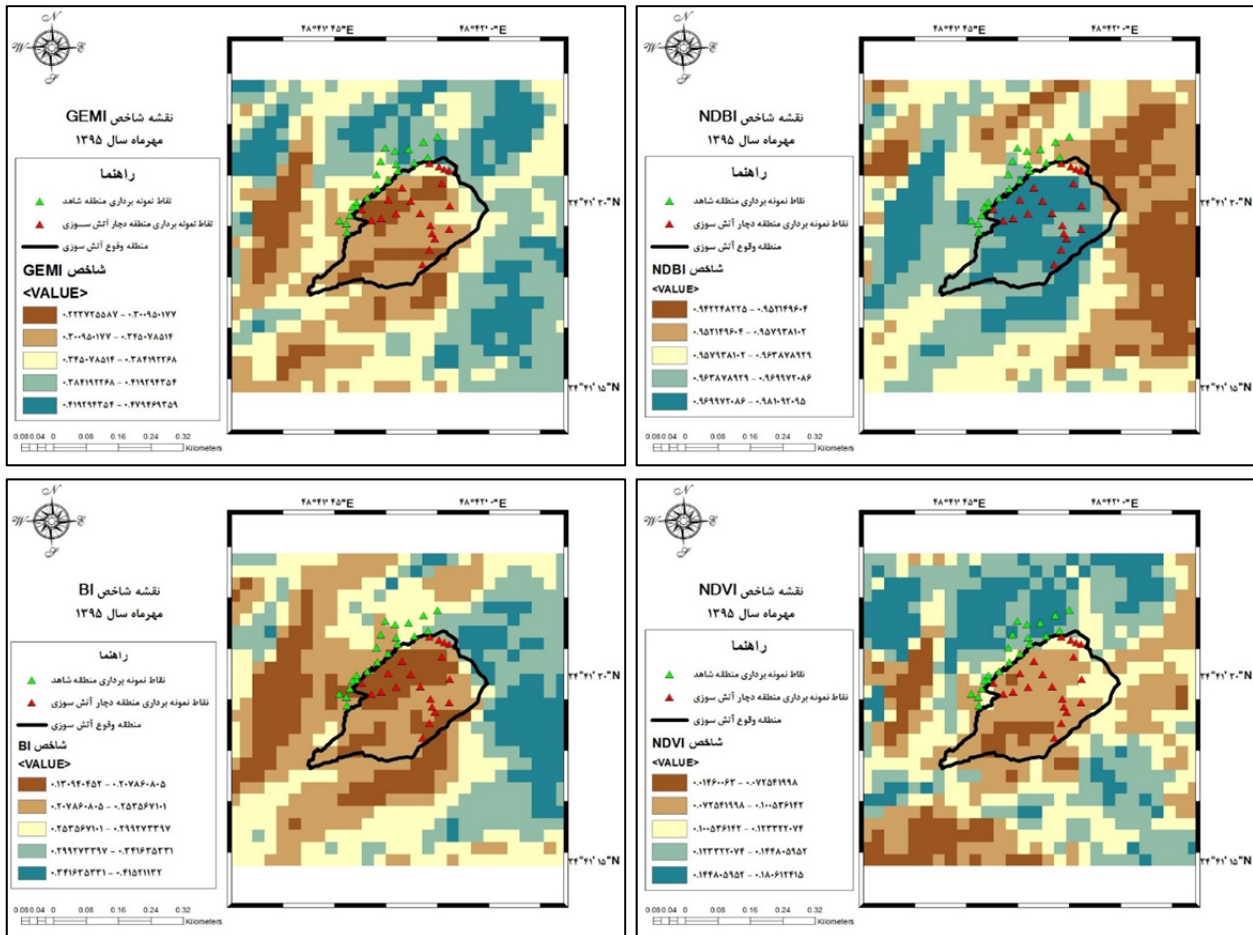
**سطح معنی‌داری ۰/۰۱ *سطح معنی‌داری ۰/۰۵

بدين منظور همبستگی بین شاخص‌ها و پارامترهای خاک در دو زمان متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا تصویر هم‌زمان با زمان نمونه‌برداری صحرائی تهیه گردید و پس از پردازشات مربوطه، شاخص‌های طیفی برای آن محاسبه گردید و در نهایت میزان بازتاب هر شاخص با توجه به نقاط نمونه‌برداری متناظر استخراج گردید (شکل‌های ۳ و ۴). همبستگی مقادیر حاصل از شاخص‌های طیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، با مقادیر داده‌های آزمایشگاهی شامل کربن آلی خاک، pH و هدایت الکتریکی در دو سایت شاهد و آتش‌سوزی با استفاده از آزمون پیرسون انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در بین تمام شاخص‌ها طیفی تنها شاخص HI با کربن آلی خاک در کوتاه‌مدت و در منطقه شاهد همبستگی داشته است. همچنین در بین تمام شاخص‌ها، شاخص‌های BI، NDBI، NDVI،

بدين منظور همبستگی بین شاخص‌ها و پارامترهای خاک در دو زمان متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا تصویر هم‌زمان با زمان نمونه‌برداری صحرائی تهیه گردید و پس از پردازشات مربوطه، شاخص‌های طیفی برای آن محاسبه گردید و در نهایت میزان بازتاب هر شاخص با توجه به نقاط نمونه‌برداری متناظر استخراج گردید (شکل‌های ۳ و ۴). همبستگی مقادیر حاصل از شاخص‌های طیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، با مقادیر داده‌های آزمایشگاهی شامل کربن آلی خاک، pH و هدایت الکتریکی در دو سایت شاهد و آتش‌سوزی با استفاده از آزمون پیرسون انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در بین تمام شاخص‌ها طیفی تنها شاخص HI با کربن آلی خاک در کوتاه‌مدت و در منطقه شاهد همبستگی داشته است. همچنین در بین تمام شاخص‌ها، شاخص‌های BI، NDBI، NDVI،

و pH همبستگی ایجاد گردیده است.

داشتند اما در سایت آتش سوزی همبستگی بین شاخص ها و EC به طور کامل از بین رفته است و در عوض بین شاخص ها



شکل ۳. نقشه شاخص های طیفی GEMI, NDBI, BI و NDVI منطقه مورد مطالعه ناحیه صنعتی گنبد

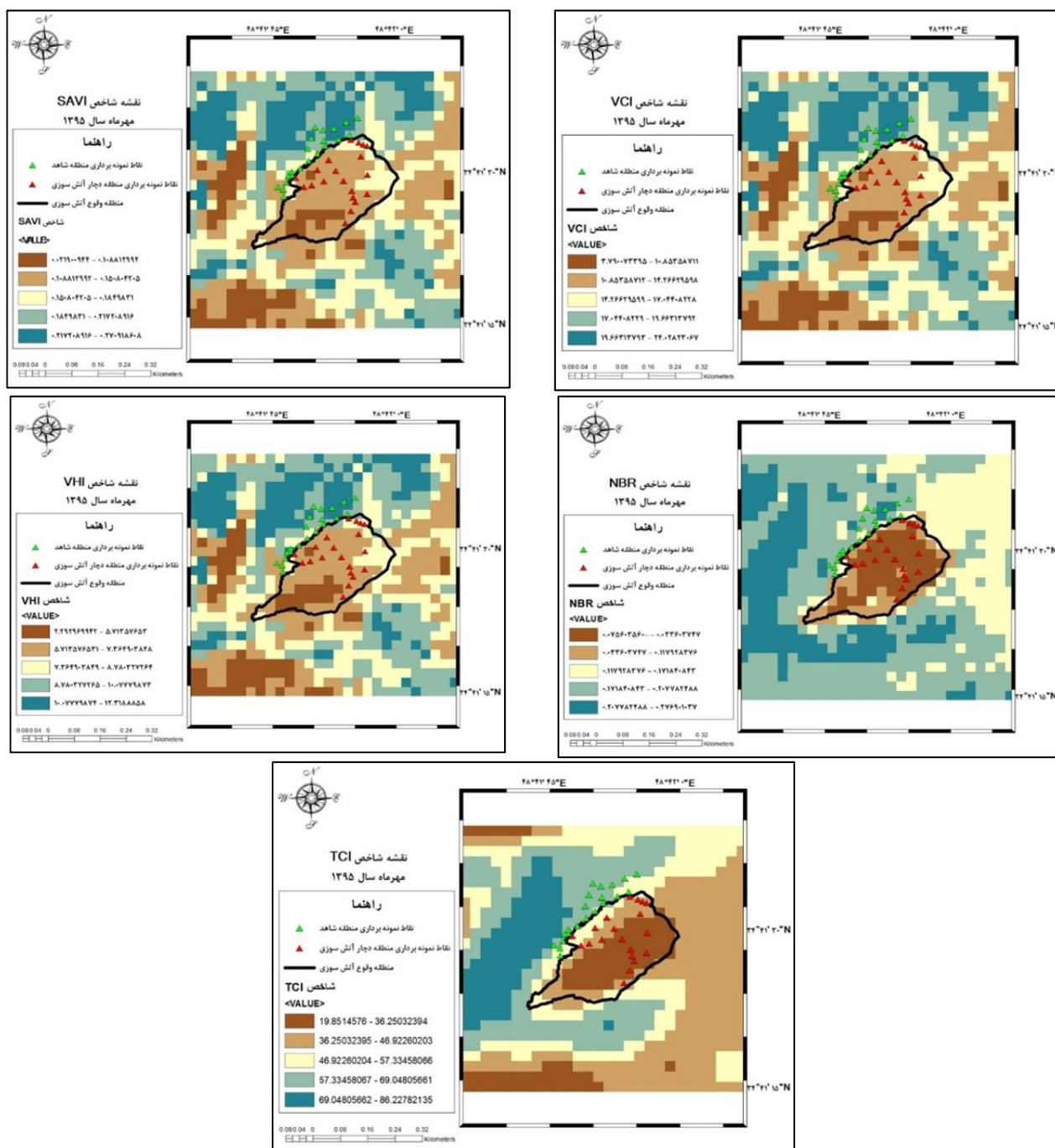
Fig. 3. Map of GEMI, NDBI, BI and NDVI spectral indices of the study area of Gonbad industrial area

آتش سوزی شامل کربن آلی خاک، pH و هدایت الکتریکی، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. بر اساس نتایج جدول ۶ هیچ یک از شاخص های طیفی در سایت شاهد با SOC همبستگی مثبت یا منفی معنی داری نداشتند و نتایج بیانگر این موضوع بود که پس از گذشت شش ماه از وقوع آتش سوزی تغییرات کربن خاک به گونه ای نبوده است که بتوان با شاخص های طیفی روند آن را بررسی کرد. بر اساس نتایج جدول ۶ مشخص گردید که هیچ یک از شاخص های طیفی در سایت آتش سوزی شده با SOC پس از گذشت شش ماه

در پژوهش های گذشته عمده بررسی صورت گرفته، بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر آتش سوزی بوده است اما در پژوهش حاضر مشخص گردید که آتش سوزی تأثیر عمده ای بر روی میزان جذب، انعکاس و انتشار امواج و انرژی از سطح خاک دارد. این امر با توجه به تأثیر در روش پوشش گیاهی می تواند به عنوان فاکتور جدیدی در کنار خصوصیات که در گذشته بررسی شده اند لحاظ گردد. همچنین جهت بررسی میزان همبستگی بین شاخص های طیفی فروردین ۱۳۹۶ و پارامترهای خاک در دو سایت شاهد و

آتش‌سوزی چه در ابتدای زمان وقوع و چه پس از گذشت شش ماه از وقوع آن، میزان همبستگی بین شاخص‌های طیفی و کربن خاک تغییری نکرده و همبستگی مثبت یا منفی مشاهده نشده است.

همبستگی مثبت یا منفی معنی‌داری نداشتند و تغییرات کربن خاک در اثر آتش‌سوزی پس از شش ماه به‌گونه‌ای نبوده است که بتوان با شاخص‌های طیفی روند آن را بررسی کرد. با مقایسه نتایج جدول‌های ۵ و ۶ مشخص شد که در اثر وقوع



شکل ۴. نقشه شاخص‌های طیفی SAVI، VCI، VHI، NBR، و TCI منطقه مورد مطالعه ناحیه صنعتی گنبد

Fig. 4. Map of SAVI, VCI, VHI, NBR and TCI spectral indices of the study area of Gonbad industrial area

سطح پنج درصد بوده که در این بین شاخص NDBI دارای رابطه معکوس و سه شاخص دیگر رابطه مثبتی با میزان شوری خاک داشتند. در مقایسه نتایج مهر ۱۳۹۵ (جدول ۵) با نتایج فروردین ۱۳۹۶ (جدول ۶) در سایت شاهد مشخص گردید که پس از گذشت شش ماه شاخص NBR همبستگی معنی‌داری با میزان EC پیدا کرده است اما شاخص‌های BI و VHI همبستگی خود را از دست داده‌اند.

در مورد همبستگی بین EC خاک و شاخص‌های طیفی مشخص گردید که شاخص‌های GEMI، NBR، NDBI، SAVI، NDVI و VCI دارای همبستگی معنی‌داری با EC خاک در سایت شاهد بودند. در این بین شاخص‌های GEMI و NBR به ترتیب دارای همبستگی معنی‌دار ۰/۶۰۹ و ۰/۴۸۳- بودند که بیانگر رابطه مستقیم شاخص GEMI و رابطه معکوس شاخص NBR با شوری خاک است. شاخص‌های NDBI، NDVI، SAVI و VCI نیز دارای همبستگی معنی‌داری در

جدول ۶. همبستگی پیرسون شاخص‌های طیفی فروردین ۱۳۹۶ و پارامترهای خاک

Table 6. Pearson correlation of spectral indices in April 2017 and soil parameters

سایت آتش‌سوزی شده			سایت شاهد			
pH	EC	SOC	pH	EC	SOC	
۰/۰۳۲	۰/۵۴۰*	۱/۰۰**	۰/۳۰۵	۰/۱۹۷	۱/۰۰**	SOC
۰/۰۳۲	۱/۰۰**	۰/۵۴۰*	۰/۴۱۹	۱/۰۰**	۰/۱۹۷	EC
۱/۰۰**	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۱/۰۰**	۰/۴۱۹	۰/۳۰۵	pH
۰/۷۱۹**	۰/۳۲۵	۰/۱۸۵	۰/۲۱۴	۰/۴۳۵	-۰/۱۵۴	BI
۰/۶۵۶**	۰/۲۵۱	۰/۱۸۴	۰/۳۰۵	۰/۶۰۹**	-۰/۲۶۱	GEMI
-۰/۲۵۲	-۰/۱۲۰	-۰/۰۷۲	-۰/۰۲۳	-۰/۴۸۳*	۰/۱۱۷	NBR
-۰/۷۰۶**	-۰/۳۲۰	-۰/۱۸۱	۰/۲۴۷	-۰/۴۹۶*	۰/۱۹۰	NDBI
-۰/۲۵۸	-۰/۲۲۳	-۰/۰۶۱	۰/۲۹۷	۰/۵۵۸*	-۰/۲۶۸	NDVI
-۰/۲۵۸	-۰/۲۲۴	-۰/۰۶۱	۰/۲۹۷	۰/۵۵۸*	-۰/۲۶۸	SAVI
-۰/۶۲۵**	-۰/۰۶۲	-۰/۲۳۶	۰/۰۰۵	۰/۰۹۰	-۰/۰۳۳	TCI
-۰/۲۵۸	-۰/۲۲۳	-۰/۰۶۱	۰/۲۹۷	۰/۵۵۸*	-۰/۲۶۸	VCI
-۰/۶۱۴**	-۰/۰۹۷	-۰/۲۲۵	۰/۱۹۰	۰/۲۶۸	-۰/۱۹۷	VHI
۰/۴۸۸	۰/۹۶۲	۰/۹۸۵	۰/۱۲۷	۰/۰۹۸	۰/۳۹۳	HI

**سطح معنی‌داری ۰/۰۱ *سطح معنی‌داری ۰/۰۵

در بررسی pH نیز مشخص شد که هیچ‌کدام از شاخص‌ها همبستگی مثبت یا منفی معنی‌داری با pH خاک در سایت شاهد نداشته‌اند و این عدم همبستگی نتایج در جدول ۵ آمده است. همچنین با بررسی همبستگی بین شاخص‌های طیفی و EC خاک مشخص گردید که در سایت آتش‌سوزی شده برخلاف سایت شاهد همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. این نتایج با نتایج موجود در جدول ۵ یکسان هستند که نشان‌دهنده اثر آتش‌سوزی بر همبستگی بین شاخص‌های طیفی و EC

با توجه به بحث صورت گرفته در مورد شاخص NBR و حضور باند SWIR2 در آن به نظر می‌رسد با گذشت شش ماه از وقوع آتش‌سوزی، در سایت شاهد تغییراتی به وجود آمده که منجر به ایجاد همبستگی بین این شاخص و EC خاک گردیده است. از آنجاکه مقدار انرژی بازتابی از سطح زمین به عوامل متعددی نظیر رطوبت خاک، تغییر محتوی ماده آلی خاک و پوشش سطح وابسته است لذا باید تأثیر این عوامل را در فصل رویش بر روی بازتاب خاک مدنظر قرارداد.

کوتاه‌مدت در حد شش ماه از بین نرفته و زمان طولانی‌تری برای بازگشت شرایط به حالت طبیعی نیاز است. بررسی همبستگی خصوصیات خاک نشان داد در سایت آتش‌سوزی بین EC و کربن آلی خاک همبستگی در سطح ۵ درصد وجود دارد اما کربن با هیچ‌یک از شاخص‌های طیفی همبستگی نداشته است. همچنین نتایج نشان دادند در سایت آتش‌سوزی هیچ‌یک از شاخص‌های طیفی با EC همبستگی نداشته‌اند اما بین pH و شاخص‌های BI، GEMI، NBR، TCI، NDBI و HI همبستگی معنادار وجود داشته است (جدول ۷). در سایت شاهد شاخص‌های GEMI، NDBI، NDVI، SAVI، VCI و VHI همگی با EC همبستگی داشته‌اند و بیشترین همبستگی بین NDVI و SAVI با EC بوده است در حالی که در سایت شاهد هیچ‌یک از شاخص‌ها با pH و SOC همبستگی نداشته‌اند.

خاک است. از طرفی نتایج جدول ۶ نشان دادند که آتش‌سوزی باعث شده است تا بین اکثر شاخص‌های طیفی و pH خاک همبستگی معنی‌داری به وجود بیاید. در این بین شاخص‌های BI و GEMI دارای همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح یک درصد و شاخص‌های TCI، NDBI و VHI دارای همبستگی منفی معنی‌داری در سطح یک درصد بودند. بیشترین همبستگی متعلق به شاخص BI به میزان ۰/۷۱۹ و کمترین میزان همبستگی مربوط به شاخص VHI به میزان ۰/۶۱۴- بوده است. همچنین در سایت شاهد بین برخی شاخص‌های طیفی و EC همبستگی وجود داشته که پس از وقوع آتش‌سوزی این همبستگی از بین رفته است و در عوض بین شاخص‌های طیفی و pH همبستگی ایجاد گردیده است. عدم تغییر این نتایج پس از گذشت شش ماه می‌تواند این موضوع را به اثبات برساند که اثرات مثبت و منفی آتش‌سوزی در دوره‌ای

جدول ۷. همبستگی پیرسون شاخص‌های طیفی اثرات یک‌ساله آتش‌سوزی در مهر ۱۳۹۶ و پارامترهای خاک

Table 7. Pearson correlation of spectral indices of one-year effects of fire in October 2017 and soil parameters

سایت آتش‌سوزی شده			سایت شاهد			
pH	EC	SOC	pH	EC	SOC	
۰/۰۳۲	۰/۵۴۰*	۱	۰/۳۰۵	۰/۱۹۷	۱	SOC
-۰/۰۰۷	۱	۰/۵۴۰*	۰/۴۱۹	۱	۰/۱۹۷	EC
۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۳۲	۱	۰/۴۱۹	۰/۳۰۵	pH
۰/۶۵۴**	۰/۳۷۱	۰/۱۷۸	۰/۱۴۶	۰/۴	-۰/۰۵۹	BI
۰/۵۹۸**	۰/۳۳۱	۰/۲۴۱	۰/۱۹۰	۰/۵۳۲*	-۰/۲۰۲	GEMI
-۰/۶۷۸**	-۰/۰۳۵	-۰/۲۴۳	-۰/۰۷۲	-۰/۲۸۷	-۰/۱۵۰	NBR
-۰/۶۳۸**	-۰/۳۷۴	-۰/۱۸۵	-۰/۱۶۱	-۰/۴۴۸*	۰/۱	NDBI
۰/۳۹۱	۰/۳۳۹	۰/۲۶۸	۰/۱۹۱	۰/۵۴۰*	-۰/۲۹۶	NDVI
۰/۳۹۱	۰/۳۳۹	۰/۲۶۸	۰/۱۹۱	۰/۵۴۰*	-۰/۲۹۶	SAVI
-۰/۵۵۸**	۰/۰۰۹	-۰/۲۱۴	-۰/۰۵۷	-۰/۲۹	-۰/۱۴۱	TCI
۰/۳۹۱	۰/۲۲۵	۰/۲۶۸	۰/۱۸۵	۰/۵۲۰*	-۰/۲۹۶	VCI
۰/۳۸۹	۰/۲۲۵	۰/۲۶۷	۰/۱۸۵	۰/۵۲۰*	-۰/۲۹۶	VHI
-۰/۵۶۲**	-۰/۲۷۱	-۰/۱۶۲	۰/۱۳۰	۰/۱۰۶	۰/۰۵۴	HI

**سطح معنی‌داری ۰/۰۱ *سطح معنی‌داری ۰/۰۵

استفاده گردید. با توجه به اینکه در بین تمام شاخص‌های طیفی تنها شاخص HI دارای همبستگی مناسب با کربن آلی در خاک

به‌منظور بررسی و مقایسه میانگین شاخص‌هایی که دارای همبستگی مناسب بوده‌اند از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه

در سایت شاهد بود لذا آنالیز واریانس تنها برای این شاخص در هر سه دوره مورد مطالعه صورت گرفت (جدول ۸). همچنین بررسی نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه برای مقایسه شاخص‌های طیفی در سه دوره مورد مطالعه نشان داد که تنها در شاخص HI میانگین بازتاب طیفی در سه دوره باهم برابر بوده است (جدول ۹).

جدول ۸. تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه شاخص HI در سه دوره مهر ۱۳۹۵، فروردین ۱۳۹۶ و مهر ۱۳۹۶ در سایت شاهد
Table 8. One-way ANOVA to compare HI index in three periods of October 2016, April 2017 and October 2017 of non-burned site

P	F	انحراف استاندارد	میانگین	دوره مورد مطالعه
		۲۹/۰۳	۹/۶۹	مهر ۱۳۹۵
۰/۱۱۹	۲/۲۱	۱۳/۳۷	۵/۳۴	فروردین ۱۳۹۶
		۳۹/۶۴	-۱۴/۵۴	مهر ۱۳۹۶

جدول ۹. تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه شاخص‌های در سه دوره مهر ۱۳۹۵، فروردین ۱۳۹۶ و مهر ۱۳۹۶ در سایت آتش‌سوزی
Table 9. One-way ANOVA to compare indices in three periods of October 2016, April 2017 and October 2017 of burned site

p	F	انحراف استاندارد	میانگین	دوره مورد مطالعه	شاخص‌ها
۰	۴۴/۵۲	۰/۰۲۴	۰/۲۳	مهر ۱۳۹۵	BI
		۰/۱۹	۰/۲۰	فروردین ۱۳۹۶	
		۰/۰۲۵	۰/۲۷	مهر ۱۳۹۶	
۰	۶/۶۴	۰/۰۱۶	۰/۳۵	مهر ۱۳۹۵	GEMI
		۰/۰۲۳	۰/۳۴	فروردین ۱۳۹۶	
		۰/۰۲۲	۰/۳۶	مهر ۱۳۹۶	
۰	۸۲/۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۳۰	مهر ۱۳۹۵	NBR
		۰/۰۲۶	۰/۰۵۰	فروردین ۱۳۹۶	
		۰/۰۱۱	۰/۱۱۴	مهر ۱۳۹۶	
۰	۳۱/۱۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۸	مهر ۱۳۹۵	NDBI
		۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۸	فروردین ۱۳۹۶	
		۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۸	مهر ۱۳۹۶	
۰	۲۰/۹۱	۰/۰۰۶	۰/۱۱	مهر ۱۳۹۵	NDVI
		۰/۰۱۹	۰/۱۳	فروردین ۱۳۹۶	
		۰/۰۱۱	۰/۱۰	مهر ۱۳۹۶	
۰	۲۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۱۷	مهر ۱۳۹۵	SAVI
		۰/۰۲	۰/۱۹	فروردین ۱۳۹۶	
		۰/۰۱	۰/۱۵	مهر ۱۳۹۶	
۰	۲۵۱/۱۱۸	۵/۷۱	۱۵/۹۰	مهر ۱۳۹۵	TCI
		۴/۷۵	۳۰/۹۵	فروردین ۱۳۹۶	
		۵/۶۵	۱۵/۱۴	مهر ۱۳۹۶	
۰	۱۰۶۱/۹۹	۱/۱۳	۴۹/۵۸	مهر ۱۳۹۵	VCI
		۳/۳۲	۵۲/۶۹	فروردین ۱۳۹۶	
		۱/۱	۴۹/۶۵	مهر ۱۳۹۶	

ادامه جدول ۹.

Cont. Table 9.

۰	۶۴۶/۳۶	۳/۱۵	۳۲/۷۴	مهر ۱۳۹۵	
		۲/۶۶	۴۱/۸۲	فروردین ۱۳۹۶	VHI
		۳/۲۱	۹۴/۱۲	مهر ۱۳۹۶	
۰/۲۸۷	۱/۲۷۷	۹/۲۳	-۲/۶۹	مهر ۱۳۹۵	
		۶/۰۲	۶/۶	فروردین ۱۳۹۶	HI
		۹/۷۴	۲/۸۲	مهر ۱۳۹۶	

بحث و نتیجه گیری

تحقیق انجام شده به منظور بررسی تغییرات کربن آلی خاک در دو سایت شاهد و آتش سوزی شده در مراتع منطقه گنبد شهرستان همدان بوده است. مطابق با بررسی های صورت گرفته مشخص گردید که ذخیره کربن آلی خاک در مراتع آتش سوزی شده با مراتع شاهد دارای تفاوت معنی داری نیست. تغییر شکل و تثبیت مواد آلی خاک در اثر آتش توسط محققین زیادی مورد بررسی و توجه قرار گرفته است (۳، ۱۱ و ۱۸)، اما تبدیل و دگرگونی ماده آلی خاک در اثر آتش سوزی، اغلب منجر به نتایج ناهمگون و متفاوتی گردیده است. همچنین در بررسی همبستگی بین شاخص های طیفی و کربن آلی خاک مشخص گردید تنها شاخص HI با کربن آلی خاک در سایت شاهد معنی دار بوده است اما در سایت دچار آتش سوزی هیچ گونه همبستگی مشاهده نشده است. این امر را می توان به بررسی طیف طول موج های مرئی آبی و سبز در رابطه ریاضی این شاخص بررسی کرد زیرا تنها در این شاخص از طیف طول موج سبز و آبی استفاده گردیده است. موندال و همکاران (۱۶) با استفاده از شاخص های طیفی اقدام به تخمین میزان کربن آلی خاک نمودند و با استفاده از روش های تلفیقی نتایج رضایت بخشی به دست آوردند. با توجه به نتایج سایر محققین (۲، ۵، ۱۲، ۱۷ و ۲۸) به نظر می رسد تخمین کربن آلی خاک با استفاده از سنجش از دور دارای پیچیدگی های خاصی است. از آنجاکه کربن آلی خاک با بیشترین تأثیر خود را بر روی رنگ خاک می گذارد، لذا اگر مقدار آن کم باشد با استفاده از سنجش از دور امکان تخمین آن ضعیف است (۱۴). وقوع آتش -

سوزی در منطقه تأثیر عمده ای بر بازتاب طیفی خاک سطحی داشته به نحوی که پس از آتش سوزی در کوتاه مدت همبستگی شاخص HI با کربن آلی خاک از بین رفته است. با توجه به پژوهش های مطرح شده و نتایج تحقیق حاضر به نظر نکته اصلی در مورد تأثیر آتش سوزی بر کربن آلی خاک گذشت زمان و فرصت به خاک برای تغییر و تحول است.

در بررسی شرایط EC و pH خاک در دو سایت شاهد و آتش سوزی شده نتایج متفاوتی به دست آمد. با توجه به اینکه به جز شاخص های HI، NBR و TCI سایر شاخص ها با مقدار EC در سایت شاهد همبستگی داشتند لذا باید علت را در نوع محاسبات بانندی و طیف طول موج های مورد استفاده در شاخص ها جستجو کرد. با بررسی تمام شاخص ها مشخص شد آنچه بین آنها مشترک است وجود باندهای قرمز (با طول موج ۰/۶۴ تا ۰/۶۷ میکرومتر) و مادون قرمز نزدیک (با طول موج ۰/۸۵ تا ۰/۸۸ میکرومتر) است. به نظر این دو طیف طول موج که در تمام شاخص های دارای همبستگی به طور مستقیم یا غیرمستقیم حضور دارند، با میزان EC خاک همبستگی بالایی دارند. از آنجاکه EC نیز خود در اثر املاح محلول خاک تغییر می کند در نتیجه می توان استنتاج کرد که تغییرات املاح محلول خاک را می توان با طول موج های قرمز و مادون قرمز بررسی کرد (۲۸). از طرفی تجزیه و تحلیل خاک های مختلف نشان داده است که پس از وقوع آتش سوزی pH خاک می تواند تا سه واحد افزایش یابد (۲). این افزایش به دلیل تولید اکسیدهای سدیم و پتاسیم، هیدروکسیدها و کربنات ها است. از آنجاکه محیط خاک همانند یک بافر قوی عمل می کند و تغییرات pH

- 1879-1881.
doi:https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.021
6. Dehni A, Lounis M. 2012. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33: 188-198. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1193.
 7. Escuin S, Navarro R, Fernandez P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4): 1053-1073. doi:https://doi.org/10.1080/01431160701281072.
 8. Fatemi SB, Rezaie Y. 2018. Principles of Remote Sensing. Azadeh Publisher Tehran. 350 p. https://isa.ir/s/mfaotF.
 9. Fynn R, Haynes R, O'connor T. 2003. Burning causes long-term changes in soil organic matter content of a South African grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(5): 677-687. doi:https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00054-3.
 10. Gholami P, Ghorbani J, Abbasi H. 2015. Effect of fire vegetation on some properties of soil in rangelands of Bamo national park in Shiraz. *Natural Ecosystems of Iran*, 5(2): 41-50. https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=455022. (In Persian).
 11. González-Pérez JA, González-Vila FJ, Almendros G, Knicker H. 2004. The effect of fire on soil organic matter-a review. *Environment International*, 30(6): 855-870. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.02.003.
 12. Heidary J, Ghorbani Dashtaki S, Raiesi F, Tahmasebi P. 2014. Pool and dynamics of soil carbon after firing the semi steppe rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari. *Water and Soil Science*, 23(4): 251-264. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/mobile/article_901.html?lang=en. (In Persian).
 13. Knicker H. 2007. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, 85(1): 91-118. doi:https://doi.org/10.1007/s10533-007-9104-4.
 14. Mirzaee S, Ghorbani-Dashtaki S, Mohammadi J, Asadi H, Asadzadeh F. 2016. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. *Catena*, 145: 118-127. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023.
 15. Mohammadian A, Borujeni E, Ebrahimi A, Tahmasebi P, Naghypour AA. 2020. Effect of integrated 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.

در آن به‌سختی رخ می‌دهد (۱۹). لذا با وقوع آتش‌سوزی‌های پراکنده و یا در زمان کوتاهی نمی‌توان شاهد تغییرات گسترده در pH خاک بود. هنگامی که pH خاک میل به سمت قلیایی بودن می‌کند، با آزاد شدن یون‌های H⁺ مقادیر pH به سمت خنثی شدن میل می‌کند و بالعکس هنگامی که شرایط محلول خاک میل به سمت اسیدی شدن می‌کند یون‌های OH⁻ و بی‌کربنات به درون محلول خاک آزاد شده و pH محلول را به سمت خنثی شدن سوق می‌دهند. درنهایت با توجه به شرایط محیطی، اقلیم، شیب منطقه، بافت و ساختمان خاک و عوامل مرتبط با آتش‌سوزی نظیر شدت و مدت آن، مقدار کربن خاک تغییر می‌کند. برای مثال در صورت وقوع آتش‌سوزی متوسط شرایط برای رویش مجدد پوشش گیاهی سریع‌تر فراهم گردیده است اما در صورت وقوع آتش‌سوزی‌های شدید به‌طورکلی تمام لایه آلی سطح خاک از بین رفته است و به‌مرور کربن کاهش داشته است. همچنین روش‌های دورسنجی نیز با توجه به توانایی ثبت انعکاس طیفی پدیده‌های سطح زمین نظیر تغییر در رنگ خاک می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید در برآورد تغییرات کربن خاک موردبررسی استفاده قرار گیرند.

References

1. Ashrafi-Saeidlou S, Rasouli-Sadaghiani MH. 2015. The effects of fire on soil organic carbon quantity and nutrients availability in Sardasht Oak forests. *Applied Soil Research*, 2(2): 28-39. https://doi.org/10.17221/17213/12018-JFS. (In Persian).
2. Caon L, Vallejo VR, Ritsema CJ, Geissen V. 2014. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 139: 47-58. doi:https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.09.001.
3. Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143(1): 1-10. doi:https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8.
4. Chansuk U. 1990. Effects of fire frequencies on soil properties in dry dipterocarp forest at Sakaerat, Changwat Nakhon Ratchasima. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TH9520517.
5. Dai X, Boutton T, Glaser B, Ansley R, Zech W. 2005. Black carbon in a temperate mixed-grass savanna. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(10):

- <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20203321071>. (In Persian).
16. Mondal A, Khare D, Kundu S, Mondal S, Mukherjee S, Mukhopadhyay A. 2017. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1): 61-70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.004>.
 17. Nazari F, Hosseini V, Shabani N. 2012. Effect of fire severity on organic carbon, total nitrogen and available phosphorus of forest soils (Case study: Marivan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 25-37. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133071198>. (In Persian).
 18. Neary DG, Klopatek CC, DeBano LF, Ffolliott PF. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122(1-2): 51-71. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00032-8)
 19. Pansu M, Gautheyrou J. 2007. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1017/S0014479707005042>.
 20. Pinty B, Verstraete M. 1992. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101(1): 15-20. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00031911>.
 21. Rani M, Kumar P, Pandey PC, Srivastava PK, Chaudhary B, Tomar V, Mandal VP. 2018. Multi-temporal NDVI and surface temperature analysis for Urban Heat Island inbuilt surrounding of sub-humid region: A case study of two geographical regions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10: 163-172. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.03.007>.
 22. Rigge M, Homer C, Cleaves L, Meyer DK, Bunde B, Shi H, Xian G, Schell S, Bobo M. 2020. Quantifying western US rangelands as fractional components with multi-resolution remote sensing and in situ data. *Remote Sensing*, 12(3): 412. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12030412>.
 23. Schuman G, Janzen H, Herrick J. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*, 116(3): 391-396. doi:[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00215-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00215-9).
 24. Shi H, Rigge M, Homer CG, Xian G, Meyer DK, Bunde B. 2018. Historical cover trends in a sagebrush steppe ecosystem from 1985 to 2013: links with climate, disturbance, and management. *Ecosystems*, 21(5): 913-929. doi:<https://doi.org/10.1007/s10021-017-0191-3>.
 25. Sholihah RI, Trisasongko BH, Shiddiq D, La Ode SI, Kusdaryanto S, Panuju DR. 2016. Identification of agricultural drought extent based on vegetation health indices of landsat data: case of Subang and Karawang, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 14-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.051>.
 26. Verma S, Jayakumar S. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(3): 168-176. [http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2012-2012\(2013\)/impact-of-forest-fire.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2012-2012(2013)/impact-of-forest-fire.pdf).
 27. Wang B, Waters C, Orgill S, Gray J, Cowie A, Clark A, Li Liu D. 2018. High resolution mapping of soil organic carbon stocks using remote sensing variables in the semi-arid rangelands of eastern Australia. *Science of the Total Environment*, 630: 367-378. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.204>.
 28. Zhang Y, Biswas A. 2017. The effects of forest fire on soil organic matter and nutrients in boreal forests of North America: A review. *Adaptive Soil Management: From Theory to Practices*: 465-476. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-10-3638-5_21.



Investigation of firing effect in rangelands on soil organic carbon changes using remotely sensed based indices

Somayeh Saati Zarei, Behnaz Attaeian

Received: 24 January 2021 / Accepted: 13 March 2021
Available online 23 September 2021

Abstract

Background and Objective Rangelands are one of the natural ecosystems that have an important part of soil carbon reservoirs and also, as very diverse genetic reservoirs guarantee the dynamics of the ecosystem. Fire is a natural factor in rangelands burning most of the existing natural cover. Rangeland fires directly alter soil microbial activity by burning soil microorganisms and indirectly by reducing organic matter, altering soil organic matter quality and other soil properties. Investigating the positive and negative effects of fire on ecosystems, especially on soil properties, has led researchers to look for alternative methods, instead of direct methods, which are generally very costly and time-consuming. One of the new methods and technologies that are very useful in the field of natural resources is satellite remote sensing. The purpose of this study was to investigate the short-term effect of fire on organic carbon, acidity, and electrical conductivity of rangeland soils in the Gonbad region of Hamadan, and to investigate the capability of remotely sensed data in the indirect estimation of soil surface carbon in semi-arid rangelands after the fire.

S. Saati Zarei¹, B. Attaeian(✉)²

1. MSc Student of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Malayer, Iran
2. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Malayer, Iran

e-mail: attaeian94@gmail.com

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>

Materials and Methods In this study, 20 soil samples were taken from each site from a depth of 0-10 cm (40 samples in total) and the coordinates of each sampling point were recorded with a GPS device. Sampling was performed 15 to 20 days after the fire in early October. After transferring to the laboratory, the samples were used to measure the amount of soil organic carbon. Then, the statistical relationship between non-burned areas and burned areas was examined and analyzed by an independent t-test. Indirect estimation of soil surface organic carbon at non-burned and burned sites was also investigated and their changes were evaluated using remote sensing satellite imagery. For this purpose, after performing the pre and post-processing on satellite data, the corresponding values of spectral reflectance of each pixel with sampling points at different wavelengths and spectral indices were extracted, and the correlation and regression equation of indices with the Carbon reservoirs were analyzed.

Results and Discussion The results of the Pearson correlation test showed that among all spectral indices, only the HI index was correlated with soil organic carbon in the short time and in the non-burned site. Besides, among all indices, BI, NDBI, NDVI, SAVI, VCI, and VHI indices were correlated with the EC value in the non-burned site. At the non-burned site, there was a significant correlation between most spectral indices and soil EC, which was eliminated after the fire at the burned site. Regarding the correlation between pH and spectral indices, it was observed that there is a correlation between some spectral indices and pH. As a matter of fact, it can be concluded that the fire has caused a large change in

the rate of reflection and propagation of waves from the soil surface so that in the non-burned site, the indices were correlated with EC, but in the burned site, the correlation between indices and EC was completely eliminated, and instead, a correlation has been established between the indices and the pH. Furthermore, none of the spectral indices in April 2017 at the non-burned site had a significant positive or negative correlation with soil organic carbon, and the results showed that after six months of the fire, the soil carbon changes were not such that the spectral indices could be examined its process. Comparing the results of October 2016 with the results of April 2017 on the non-burned site, it was found that after six months, the NBR index has found a significant correlation with the EC rate, but the BI and VHI indices have lost their correlation. According to the NBR index and the SWIR2 band, it seems that after six months from the occurrence of the fire, changes have occurred in the control site, which has led to a correlation between this index and soil EC. Since the amount of reflected energy from the earth's surface depends on several factors such as soil moisture, changes in soil organic matter content, and surface cover, so the effect of these factors on the soil reflectance should be considered in the growing season. Failure to change these results after six months can prove that the positive and negative effects of the fire have not disappeared in a short period of six months and a longer time is needed for the situation to return to normal.

Conclusion According to the results, it was found that soil organic carbon reservoirs in burned rangelands in comparison with non-burned rangelands is not significantly different. Deformation and stabilization of soil organic matter due to fire have been studied by many researchers, but the transformation of soil organic matter by fire has often led to heterogeneous and different results. At a depth of 10-20 cm, the fire was found to have no effect on soil organic carbon content, but other researchers found that 6 months after the fire, the amount of carbon in the burned soils increased compared to the non-burned soils. It was also found that the percentage of soil organic carbon

decreased significantly three months after the fire. Moreover, in another study on the effect of fire on soil organic carbon, it was found that in the area affected by the fire compared to the control area in one year and two years after the fire, the amount of soil organic carbon has decreased significantly. Since the effect of fire on the physical and chemical properties of soil is strongly influenced by fire intensity, soil moisture, climate, and vegetation, so all these factors have led to different results in investigating the effect of fire on soil organic carbon. Due to environmental conditions, climate, the slope of the area, soil texture and structure, and factors related to fire such as its intensity and duration, the amount of soil carbon has changed. For example, in the event of a medium-sized fire, the conditions for vegetation regrowth are faster, but in the event of a severe fire, the entire organic layer of the soil surface is generally removed and carbon is reduced over time. Also, in examining the correlation between spectral indices and soil organic carbon, it was found that only the HI index with soil organic carbon was significant at the non-burned site, but no correlation was observed at the burned site. This can be examined by examining the spectrum of visible blue and green wavelengths in the mathematical relationship of this index because only in this index the green and blue wavelength spectrum have been used. According to the results of other researchers, it seems that estimating soil organic carbon using remote sensing has certain complexities. Since soil organic carbon has the greatest impact on soil color, it is difficult to estimate it using remotely sensed data if its amount is low. The occurrence of fire in the region has a major impact on the spectral reflectance of surface soil so that after the fire in a short time the correlation of HI index with soil organic carbon is lost. According to the results of the present research, it seems that the main point about the impact of fire on soil organic carbon is the time and the opportunity for soil to change.

Keywords: Firing, Rangeland, Soil organic carbon, Spectral indices, Remote sensing