

ارائه روشی نوین مبتنی بر شاخص‌های گیاهی به منظور تخمین ضریب گسیل سطح از تصاویر ماهواره لندست-۸

یاسر جوئیباری مقدم^{۱*}، مهدی آخوندزاده^۲، محمد رضا سراجیان^۳

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
y.joibari@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
makhonz@ut.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
sarajian@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۴)

چکیده

ضریب گسیل سطح از شاخص‌های مهم در تخمین بودجه انرژی، ارزیابی پوشش‌های زمینی، مطالعه انتقال گرمایی و مطالعات سطح می‌باشد. ضریب گسیل سطح می‌تواند به عنوان شاخصی، بیانگر ساختار تشکیل دهنده مواد باشد. علاوه بر این تعیین دمای سطح زمین بدون تخمین مناسبی از ضریب گسیل امکان پذیر نیست. در این تحقیق روشی برای تعیین ضریب گسیل سطح از دو باند حرارتی ماهواره لندست-۸، باندهای ۱۰ و ۱۱، بر اساس شاخص‌های گیاهی ارائه شد. برای این منظور هفت شاخص گیاهی مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند. این تحقیق از سه بخش اصلی تشکیل شده: (۱) طراحی و ساخت داده‌های شبیه‌سازی شده برای لندست-۸ (۲) انجام آنالیزهای همبستگی و حد آستانه بین شاخص‌های گیاهی و ضریب گسیل (۳) انجام رگرسیون بین ضریب گسیل و شاخص‌های گیاهی. ابتدا با استفاده از کتابخانه طیفی و تابع پاسخ طیفی باندهای لندست-۸ داده‌های شبیه‌سازی شده برای این ماهواره طراحی شد و سپس با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده آنالیز همبستگی و حد آستانه بر روی هفت شاخص گیاهی و ضریب گسیل انجام شد و در نهایت با استفاده از روش کمترین مربعات و رگرسیون بردار پشتیبان، بین شاخص‌های گیاهی و ضریب گسیل رابطه‌ای طراحی شد. روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده مستقل مورد ارزیابی قرار گرفت که خطای ریشه کمترین مربعات برای ضریب گسیل باند ۱۰ و ۱۱ به ترتیب برابر ۰/۰۰۷ و ۰/۰۰۹ بود. لذا با توجه به سادگی و عدم نیاز این روش به داده جانبی، روشی مناسب در تعیین ضریب گسیل سطح از لندست-۸ می‌باشد.

واژگان کلیدی: ضریب گسیل سطح، شاخص گیاهی، رگرسیون بردار پشتیبان، لندست-۸

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

ضریب گسیل پارامتری است که توصیف کننده ویژگی‌های حرارتی یک جسم بوده و از ویژگی‌های ذاتی آن ماده بشمار می‌رود و اغلب از آن می‌توان به‌عنوان شاخصی از ترکیبات ماده نام برد به خصوص در مورد کانی‌هایی که سیلیکاتی هستند [۱]. ضریب گسیل سطح را می‌توان بصورت نسبت رادیانس ساطع شده از جسم به رادیانس ساطع شده از جسم سیاه در دما یکسان و یک طول موج مشخص تعریف کرد.

ضریب گسیل در برآورد دمای واقعی سطح زمین با استفاده از دمای ظاهری، محاسبه توان تشعشعی موثر سطوح ناهمگن و زبر با توجه به توان تفکیک طیفی و مکانی پیکسل، تهیه همزمان دما و توان تشعشعی بر اساس روش چند طیفی، محاسبه تابش طول موج بلند موثر، تبخیر و تفرق از سطح خشکی‌ها با استفاده از بیلان تابشی، کالیبراسیون دستگاه‌های شبیه‌ساز و همچنین برای شناسایی سطوح با توجه به این که توان تشعشعی وابسته به خصوصیات سطحی است می‌تواند به‌کار رود.

ضریب گسیل یک سطح به عوامل متعددی بستگی دارد از جمله به ثابت نفوذ پذیری الکتریکی آن، ناهمواری سطح، ساختار شیمیایی و فیزیکی ماده و پارامترهای مربوط به سنجنده شامل طول موج، پلاریزاسیون، زاویه دید و قدرت تفکیک مکانی [۲].

تاکنون روش‌های متعددی برای تعیین ضریب گسیل سطح توسط سنجنده‌های فضایی ارائه شده است که عبارتند از ضریب گسیل بر مبنای طبقه بندی، ضریب گسیل بر مبنای شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده، تقریب رادیانس باندها، روش باند مینا، شاخص طیفی مستقل از دما، روش نرمالسازی ضریب گسیل، روش اندازه‌گیری در دو زمان (روش روز و شب)، روش گسیل مندی آلفا، روش گسیل مندی مدل و روش جداسازی گسیل مندی و دما [۳-۳].

روش تعیین ضریب گسیل بر مبنای طبقه‌بندی توسط گیلسپای در سال ۱۹۹۶ ارائه شد [۳] و بعد از آن در سال ۱۹۹۸ توسط اشنايدر [۲] و در سال ۲۰۰۵ توسط پریس و داگمرا [۱۴] توسعه پیدا کرد. در این روش هر پیکسل بر اساس طبقه‌بندی قراردادی پوشش زمین و پارامترهای فصلی و دینامیکی در یکی از ۱۴ کلاس ضریب گسیل قرار

می‌گیرد. در این روش، مدل ارائه شده، برای هر کلاس بازه‌ای از مقادیر ضریب گسیل را بر مبنای اندازه‌گیری‌های طیفی و ویژگی‌های ساختاری ارائه می‌دهد. کلاس‌هایی که ضریب گسیل برای آنها محاسبه گردیده در واقع زیر مجموعه‌ای از کلاس‌های استاندارد IGBP هستند [۳]. از مزایای این روش می‌توان به عدم نیاز به تصحیح اتمسفری و تعدد باند حرارتی اشاره کرد. این روش برای داده‌ها با قدرت تفکیک پایین نامناسب است و همچنین دقت این روش وابسته به دقت طبقه بندی می‌باشد.

روش ضریب گسیل بر مبنای شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده در سال ۱۹۹۳ توسط ون دی گیریند و اوه ارائه شد [۴] و در سال ۱۹۹۶ توسط ولور و کسل [۱۵] و در سال ۲۰۰۰ توسط سوپرینو و رایسونی توسعه پیدا کرد [۱۶]. در این روش فرض بر این است که سطح از سه کلاس خاک، گیاه و یا تلفیق هر دو تشکیل شده است و همچنین بین ضریب گسیل و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده برای هر کلاس رابطه‌ای وجود دارد [۴]. عدم نیاز به تصحیح اتمسفری دقیق و کارایی برای سنجنده‌هایی با تک باند حرارتی از مزایای این روش می‌باشد اما این روش در مناطق دارای پوشش‌های خاص نامناسب می‌باشد.

روش تقریب رادیانس باندها در سال ۱۹۹۰ توسط بکر ولی ارائه شد. در این روش، ضریب گسیل با استفاده از تقریب در معادله انتقال تشعشعی به دست می‌آید [۵] لذا این روش برای رسیدن به دقت مطلوب نیاز به تصحیح اتمسفری دقیق دارد.

روش باند مینا برای اولین بار توسط کاهل در سال ۱۹۸۰ ارائه شد در این روش فرض می‌شود که ضریب گسیل برای تمامی پیکسل‌های یک باند مفروض، دارای مقدار ثابتی است و بر اساس این مقدار ثابت و پارامترهای اتمسفری دمای سطح برای پیکسل‌های باند مفروض محاسبه می‌شود و سپس با توجه به این نکته که دمای سطح در تمامی باندها ثابت است ضریب گسیل برای سایر باندها محاسبه می‌شود [۶]. در نتیجه دقت این روش تا حدود زیادی وابسته به انتخاب مقدار ثابت می‌باشد.

روش شاخص طیفی مستقل از دما در سال ۱۹۹۳ توسط بکر و لی برای آنالیزهای طیفی در محدوده مادون قرمز پیشنهاد شد. این روش بر مبنای قانون تقریب توان از

شده، روش نسبت طیفی و روش گسیل‌مندی حداقل و حداکثر می‌باشد که ضریب گسیل و دمای سطح را به صورت همزمان محاسبه می‌کند [۱۲]. این روش با استفاده از تغییراتی برای سایر سنجنده‌ها نیز قابل استفاده است.

در این تحقیق، استفاده از شاخص‌های گیاهی برای تعیین ضریب گسیل مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا داده‌های شبیه‌سازی شده‌ای بر اساس تابع پاسخ طیفی باندهای لندست-۸ و همچنین داده‌های کتابخانه طیفی برای همه‌ی باندهای لندست-۸ طراحی شد و بر مبنای آن آنالیزهای بعدی انجام گرفت. به این ترتیب که هفت شاخص گیاهی کسر ساده، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص گیاهی بارز شده، شاخص گیاهی تبدیل شده، شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک، شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده و شاخص سطح برگ انتخاب شدند و با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده، برای تمام نمونه‌ها این شاخص‌ها محاسبه گردیدند سپس همبستگی بین این شاخص‌ها و مقدار ضریب گسیل در باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست-۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (آنالیز همبستگی) و شاخص‌هایی که دارای همبستگی قابل قبول بودند به‌عنوان شاخص‌هایی مناسب برای تعیین ضریب گسیل در این دو باند استفاده شدند. همچنین برای شاخص‌ها آنالیز دیگری جهت تعیین حد آستانه مطلوب برای جداسازی به کلاس‌های خاک، گیاه و تلفیق گیاه و خاک انجام شد (آنالیز حد آستانه). در نهایت، برای ایجاد رابطه بین شاخص گیاهی مورد نظر و ضریب گسیل از دو روش، رگرسیون خطی از طریق روش کمترین مربعات و رگرسیون‌های بردار پشتیبان استفاده شد. با توجه به عدم دسترسی به داده مرجع زمینی ضریب گسیل و همچنین عدم وجود تحقیق و روشی استاندارد در زمینه تعیین ضریب گسیل سطح با استفاده از داده‌های ماهواره لندست-۸ از داده‌های شبیه‌سازی شده مستقل دیگری برای ارزیابی پژوهش انجام شده استفاده شد.

۲- ماهواره لندست-۸

ماهواره‌های لندست توسط سازمان ناسا طراحی و در مدار قرار گرفته اند ماهواره‌های لندست تا قبل از پرتاب

تابع پلانک استوار است. در این روش حداقل به دو باند حرارتی نیاز است [۷].

روش نرمال‌سازی ضریب گسیل توسط گیلسپای در سال ۱۹۸۵ ارائه شد. در این روش از فرض ثابت بودن مقدار ضریب گسیل برای هرپیکسل در N باند استفاده شده است. به این صورت که با استفاده از معادله انتقال تشعشعی، N دما از مقادیر رادیانس به دست می‌آید و بیشترین مقدار از میان N دمای به دست آمده به عنوان دمای سطح زمین در نظر گرفته می‌شود و برای به دست آوردن مقدار ضریب گسیل در سایر باندها همانند روش باند مینا عمل می‌شود [۸].

روش محاسبه ضریب گسیل بر مبنای اندازه‌گیری در دو زمان توسط ون و لی در سال ۱۹۹۷ ارائه شد. اساس این روش بر ثابت فرض کردن ضریب گسیل در طول زمان به شرط تغییر نکردن پارامترهای محیطی، استوار است. در این روش با فرض ثابت ماندن پارامترهای محیطی، از منطقه دو تصویر حرارتی اخذ می‌شود. حال برای هر باند حرارتی در هر تصویر می‌توان یک معادله بر اساس تابع انتقال تشعشعی نوشت. هر معادله ۲ مجهول ضریب گسیل و دما را دارد که با فرض ثابت ماندن ضریب گسیل می‌توان یک معادله به معادلات اضافه کرد. با حل همزمان معادلات به تعداد مجهولات یک عدد اضافه می‌شود در حالیکه تعداد معادلات دو برابر می‌گردد و می‌توان ضریب گسیل را محاسبه نمود [۹]. ضعف عمده این روش نیاز به دقت بالا در ثبت هندسی مکانی و رادیومتریکی دو تصویر نسبت به یکدیگر است.

روش گسیل‌مندی آلفا توسط کلی و گابل در سال ۱۹۹۰ بر اساس تقریب وین از تابع پلانک ارائه شد دقت این روش وابسته به دقت تقریب است [۱۰].

روش گسیل‌مندی مدل را سال ۲۰۰۰، لیانگ ارائه کرد در این روش با استفاده از اطلاعات سایر باندها ضریب گسیل محاسبه می‌شود. به این صورت که برای هر باند وزنی در نظر گرفته می‌شود و هر باند به میزان وزنشان در تعیین ضریب گسیل باند حرارتی نقش دارند. مشکل اصلی این روش وابستگی به نوع منطقه است [۱۱].

الگوریتم جداسازی ضریب گسیل و دما در سال ۱۹۹۸ در تیم سنجنده استر طراحی و توسعه یافت و با اعمال تغییراتی برای سایر سنجنده‌ها استفاده گردید. این الگوریتم در واقع تلفیق سه الگوریتم ضریب گسیل نرمال

تابع پاسخ طیفی را می‌توان تابعی که در هر طول موج حساسیت تابشی را می‌دهد تعریف کرد و یا به صورت فیزیکی می‌توان آن را پاسخ دستگاه و یا مواد به نور تک رنگ به عنوان تابعی از طول موج تعریف نمود [۱۳]. هر سنسور تابع پاسخ طیفی مربوط به خود را دارد که به ویژگی‌های ساختاری سنسور بستگی دارد.

۳-۲- کتابخانه طیفی

کتابخانه‌های طیفی نمایشی از طیف مواد گوناگون (مانند خاک، مواد معدنی، گیاهان و...) است که عموماً از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از دستگاه‌های اسپکترومتری ایجاد شده‌اند. اگرچه با توجه به هزینه و زمان زیادی که برای اندازه‌گیری‌های میدانی طیف نیاز است تعداد کتابخانه‌های طیفی در دسترس کم است اما با توجه به اهمیت موضوع تشکیل کتابخانه‌های طیفی، پژوهش‌های مناسبی در این زمینه در حال انجام است. مهم‌ترین و معروف‌ترین کتابخانه طیفی که در حال حاضر استفاده می‌شود کتابخانه طیفی استر است. این کتابخانه شامل طیف مواد سنگی، معدنی، خاک، گیاهان، برف، آب، یخ و مواد دست‌ساز می‌باشد. محدوده طیفی این کتابخانه محدوده‌های مرئی و حرارتی طیف الکترومغناطیس را شامل می‌شود به عبارت دیگر محدوده طول موج بین ۰/۴ تا ۱۵/۴ میکرومتر را در بر می‌گیرد. نسخه اولیه آن در ژوئای سال ۱۹۹۸ تهیه شد و نسخه دوم آن از سال ۲۰۰۷ بروی پایگاه اینترنتی به آدرس <http://speclib.jpl.nasa.gov> قابل دسترس می‌باشد.

۳-۳- داده‌های شبیه‌سازی شده

روش‌های متعددی برای ساخت داده‌های شبیه‌سازی شده برای سنسورها بکار گرفته می‌شوند. در این پژوهش از روشی بر مبنای میانگین‌گیری وزندار استفاده شده است. به این ترتیب که با استفاده از تابع پاسخ طیفی باندها و همچنین داده‌های کتابخانه طیفی، از طریق معادله ۱ که مقادیر تابع پاسخ طیفی در آن حکم وزن را دارند، مقدار رادیانس مورد نظر در باندی با طول موج مرکزی λ محاسبه می‌شود:

ماهواره لندست - ۸ شامل سه نسل بودند که ماهواره‌های لندست ۱، ۲ و ۳ نسل اول، لندست ۴ و ۵ نسل دوم و لندست ۶ و ۷ نسل سوم هستند. ماهواره‌های لندست در مدارهای خورشید آهنگ در هر ۹۹ دقیقه یک بار به دور زمین می‌گردند و مدار گردش این ماهواره‌ها به گونه‌ای انتخاب شده که حدود ساعت ۹/۴۵ به وقت محلی، از بالای خط استوا عبور می‌کنند.

ماهواره لندست - ۸ پروژه مشترک سازمان فضایی آمریکا و سازمان زمین‌شناسی این کشور بوده است که بطور موفقیت آمیز در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ در مدار مربوط به خود قرار گرفت. این ماهواره از دو سنسور اصلی تشکیل شده است: (۱) سنسور OLI که دارای ۹ باند طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه محدوده طیف الکترومغناطیس قرار دارد (۲) سنسور TIRS که دارای ۲ باند در محدوده مادون قرمز حرارتی است. توان تفکیکی مکانی این سنجنده در مورد باندهای سنسور OLI ۳۰ متر می‌باشد و برای ۲ باند حرارتی ۱۰۰ متر است و این سنجنده دارای یک باند پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر می‌باشد. زمان عبور مجدد این سنجنده از یک منطقه ۱۶ روز می‌باشد داده‌های این سنجنده هم اکنون به صورت رایگان توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا ارائه می‌گردد. این داده‌ها را می‌توان از طریق آدرس اینترنتی سایت زمین‌شناسی آمریکا (earthexplorer.usgs.gov) دریافت کرد. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این ماهواره نسبت به نسل‌های قبلی لندست در بحث سنجنش از دور حرارتی، مجهز شدن این ماهواره به دو باند حرارتی می‌باشد. همچنین بهبود توان تفکیک مکانی باندهای غیر حرارتی این ماهواره نسبت به سایر ماهواره‌های لندست دارای اهمیت ویژه‌ای در زمینه تعیین ضریب گسیل سطح می‌باشد. ابتدا داده‌های این ماهواره دارای مشکلات و خطای کالیبراسیون بودند که در حال حاضر این مشکل رفع شده است و داده‌ها توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا مجدداً مورد پردازش قرار گرفتند و تصحیح شدند.

۳-۳- مجموعه داده مورد مطالعه

۳-۱- تابع پاسخ طیفی

صفر و بی نهایت می‌تواند تغییر کند، محدوده تغییرات معمول برای پوشش گیاهی بین ۲ تا ۸ می‌باشد.

۴-۱-۲- شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده

این شاخص از پر کاربردترین شاخص‌های گیاهی می‌باشد که بطور وسیع در مسایل مختلف بکار می‌رود. این شاخص توسط روز و همکاران در سال ۱۹۷۳ ارائه شد. شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل و تنش در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد. شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده اساساً بر پایه رفتارهای مختلف نمایش داده شده بوسیله اختلاف در طول موج‌های الکترومغناطیس گسیل شده از گیاهان می‌باشد. کلروفیل داخل گیاه انرژی واقع در طول موج قرمز را جذب می‌کند در حالیکه مزوفیل در بخش مادون قرمز امواج را منعکس می‌کند. این شاخص از رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۱۸]:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (3)$$

ρ_{red} و ρ_{NIR} به ترتیب مقادیر پیکسل در باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز می‌باشند. مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ تغییر می‌کند.

۴-۱-۳- شاخص گیاهی بارز شده

شاخص گیاهی بارز شده برای بهبود شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده از طریق کاهش اثر اتمسفر با استفاده از انعکاس باند آبی ایجاد شده است. ترکیب روابط تجربی برای تصحیح اتمسفریک منجر به ایجاد این شاخص شد. هیوت و همکاران در سال ۱۹۹۷ این شاخص را به شکل زیر تعریف کردند [۱۹]:

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{L + \rho_{NIR} + C_1 \rho_{red} + C_2 \rho_{blue}} \quad (4)$$

در رابطه فوق G ، L ، C_1 و C_2 به ترتیب برابر ۱/۲، ۱، ۶ و ۷/۵ می‌باشند. مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ تغییر می‌کند و معمولاً برای پوشش گیاهی بین ۱/۲ تا ۰/۸ قرار دارد.

$$L^{sim} = \frac{a_{min}}{a_{max}} \frac{\int L \lambda R \lambda d \lambda}{\int R \lambda d \lambda} \quad (1)$$

در این رابطه L رادیانس شبیه‌سازی شده، R تابع پاسخ طیفی و a_{min} ، a_{max} به ترتیب طول موج ابتدایی و انتهایی مربوط به باند مورد نظر هستند و با استفاده از این رابطه رادیانس و بازتابش برای همه‌ی باندها محاسبه شد و برای تبدیل بازتابش دو باند ۱۰ و ۱۱ به ضریب گسیل از قانون کیرشهف ($\epsilon = I - r$) استفاده می‌شود.

در این پژوهش از دو کتابخانه طیفی استر و کتابخانه طیفی که توسط آزمایشگاه اکولوژی سیستم‌های دانشگاه تگزاس طراحی شده است، استفاده شد. کتابخانه استر به عنوان کتابخانه اصلی و کتابخانه آزمایشگاه اکولوژی سیستم‌ها به عنوان مکمل استفاده شدند. در واقع مقادیر رادیانس‌ها از داده‌های کتابخانه‌ها محاسبه شدند و همچنین برای داده‌های مربوط به تابع پاسخ طیفی، داده‌ها از سایت لندست دانلود و استفاده گردید.

۴- مبانی روش پیشنهادی

۴-۱- شاخص گیاهی

در این قسمت هفت شاخص گیاهی بکار رفته در این تحقیق مختصراً توضیح داده شده‌اند:

۴-۱-۱- شاخص گیاهی کسر ساده

شاخص گیاهی کسر ساده، ساده‌ترین شاخص گیاهی می‌باشد که اولین بار توسط جوردن در سال ۱۹۶۹ ارائه شد. این شاخص شیب خطی است که پوشش گیاهی را در فضای قرمز طیف الکترومغناطیس نسبت به مادون قرمز طیف الکترومغناطیس نشان می‌دهد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۱۷]:

$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}} \quad (2)$$

ρ_{red} و ρ_{NIR} به ترتیب مقادیر پیکسل در باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز می‌باشند. مقادیر این شاخص بین

۴-۱-۴- شاخص گیاهی تبدیل شده

شاخص گیاهی تبدیل شده از نوع شاخص های گیاهی شیب مبنا می باشد که دیرینگ و همکاران در سال ۱۹۷۵ به منظور اجتناب از به دست آمدن مقادیر منفی برای شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده و تبدیل توزیع این شاخص به توزیع نرمال آن را به شکل زیر ارائه کردند [۲۰]:

$$TVI = \sqrt{NDVI + 0.5} \quad (5)$$

مقادیر این شاخص بین ۰ تا ۱/۲۵ می باشد که معمولاً گیاهان در بازه بین ۰/۸۳ تا ۱/۱ قرار می گیرند.

۴-۱-۵- شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک

شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اولین بار توسط هیوت در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید. از اهداف این شاخص به حداقل رساندن اثرات خاک پس زمینه بر روی سیگنال های پوشش گیاهی بوسیله ترکیب کردن فاکتور تنظیم کننده خاک با مخرج معادله شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده می باشد. دلایل دیگر استفاده از این شاخص این است که خطوط همپوش گیاهی موازی نیستند و اینکه بطور کامل یک نقطه را پوشش نمی دهند [۲۱]. شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک یک شاخص گیاهی مناسب برای محیط هایی با پوشش کم می باشد، که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$SAVI = (1+L) \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{L + \rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (6)$$

L فاکتور تعدیل کننده اثر خاک است که معمولاً با سعی و خطا محاسبه می شود. اگر L صفر باشد شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک همانند شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده می باشد. برای مقادیر متوسط پوشش گیاهی L حدود ۰/۵ در نظر گرفته می شود. عبارت $(1+L)$ تضمین می کند که حدود این شاخص همانند شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده بین ۱- و $1+$ قرار بگیرد.

۴-۱-۶- شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده

کی و همکاران در سال ۱۹۹۴ شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده ارائه کردند که تفاوت اصلی آن با شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک در حذف پارامتر L می باشد. رابطه این شاخص گیاهی در معادله ۷ آورده شده است که بر اساس مقادیر انعکاسی باند مادون قرمز و قرمز می باشد [۲۲]:

$$MSAVI = \frac{2\rho_{NIR} + 1 - \sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_{red})}}{2} \quad (7)$$

۴-۱-۷- شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ نسبت کل مساحت تمامی برگ های یک گیاه به مساحت اراضی نمایش داده شده بوسیله گیاه می باشد. این شاخص توسط نورمن و کمپبل در سال ۱۹۸۹ به شکل زیر تعریف شد [۲۳]:

$$LAI = \frac{-\ln(1 - FVC)}{K(\theta)} \quad (8)$$

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (9)$$

$NDVI_v$ و $NDVI_s$ بر اساس کمینه و بیشینه شاخص شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده تعیین می شوند. برای مناطق به طور کامل پوشیده شده بوسیله گیاه $FVC=0$ و خاک لخت $FVC=0$ می باشد. K ضریب جذب نور برای زاویه زنیستی خورشید می باشد. قواعد تعیین $NDVI_s$ و $NDVI_v$ نیاز به آنالیز هیستوگرام حداکثر سالانه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده برای هر کلاس پوشش اراضی دارد. $NDVI_s$ برای انواع پوشش اراضی ۰/۰۵ می باشد در حالیکه $NDVI_v$ بستگی به تفکیک پذیری مکانی و تغییرات از سالی به سالی برای یک نوع پوشش می باشد.

۴-۲- رگرسیون خطی از روش کمترین مربعات

برآورد رابطه بین دو متغیر امکان پذیر نخواهد بود مگر آنکه فرض کنیم رابطه بین دو متغیر دارای فرم

یکی از روش‌هایی که برای حل چنین مشکلاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. ماشین بردار پشتیبان یک تکنیک جدید از روش‌های یادگیری ماشین است. ویژگی مهم ماشین بردار پشتیبان این است که برخلاف الگوریتم‌های کلاسیک و رگرسیون‌های خطی که به وسیله کمینه کردن قدر مطلق خطا یا توان دوم خطا عمل می‌کنند، آنها ریسک عملیاتی را کمینه می‌کنند [۲۴]. ماشین بردار پشتیبان برخلاف شبکه‌های عصبی با مشکل گیر افتادن در مینیمم‌های محلی تابع خطا مواجه نمی‌باشد [۲۵] و می‌تواند با استفاده از هسته‌های غیر خطی در تصمیم‌گیری غیر خط کاربرد داشته باشند.

ماشین بردار پشتیبان به صورتی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ بوسیله وپنیک و همکارانش معرفی گردید. آن‌ها در سال ۱۹۹۵ ماشین بردار پشتیبان را برای کاربرد در مسائل رگرسیون توسعه دادند [۲۶].

ماشین‌های بردار پشتیبان به دو مدل عمده الف) مدل طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و ب) مدل رگرسیون ماشین بردار پشتیبان تقسیم بندی می‌شوند. اساس روش‌های بردار پشتیبان بر اساس کمینه سازی ساختار ریسک می‌باشد که از تئوری آموزش آماری گرفته شده است.

وپنیک برای کاربرد ماشین‌های بردار پشتیبان در مسائل رگرسیون از تابع خطایی استفاده کرد که این تابع خطاهایی که در یک ϵ -Insensitive به نام فاصله معین از مقادیر واقعی باشند را نادیده می‌گیرد [۲۷]. این تابع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L(y, f(x, a)) = |y - f(x, a)|_{\epsilon} = \begin{cases} 0 & \text{for } |y - f(x, a)| \leq \epsilon \\ |y - f(x, a)| - \epsilon & \text{if } |y - f(x, a)| > \epsilon \end{cases} \quad (14)$$

این تابع خطا مقادیر خطای کمتر از ϵ را در نظر نمی‌گیرد. مسأله تقریب یک مجموعه از داده‌های زیر را در نظر می‌گیریم:

$$D = \{(x^1, y^1), \dots, (x^i, y^i)\}, (x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{R}) \quad (15)$$

ریاضی خاصی است. یکی از معمول ترین این فرم‌ها تابع خطی ساده به فرم زیر است:

$$y = ax + b \quad (10)$$

یکی از بهترین برازش‌ها را آن‌چنان خطی می‌توان تعریف کرد که مجموع مربعات خطا کمترین مقدار ممکن شود. منظور از خطا عبارتست از فاصله عمودی بین مقدار واقعی مشاهده شده و مقداری که برای آن از خط برازش شده به دست می‌آید.

برای هر مجموعه‌ای از مشاهدات آماری، خطوط مختلف دارای مجموع مربعات خطای متفاوتی خواهند بود. بهترین خط برازش شده آنچنان خطی است که در آن مجموع مربعات خطا دارای کمترین مقدار باشد. این خط به نام خط حداقل مربعات نامیده می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان ضابطه حداقل مربعات را به شکل زیر نوشت و از آن ضرایب a و b متعلق به خط حداقل مربعات را به دست آورد.

$$f(a, b) = \sum e_i^2 = \sum [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (11)$$

در رابطه فوق x و y ثابت هستند و a و b هستند که متغیرند. برای تعیین a و b کافیست از تابع f یک بار نسبت به a و یکبار نسبت به b مشتق گرفت و آنرا برابر صفر قرار دهیم. از حل این دو معادله مقادیر a و b از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum y_i)^2} \quad (12)$$

$$a = y - bx \quad (13)$$

۴-۳- رگرسیون بردار پشتیبان

در آمار کلاسیک روش‌های طبقه بندی و رگرسیون بر پایه فرضیات محدود کننده‌ای بنا شده که در آن مدل‌های توزیع احتمال و یا توابع چگالی احتمال، معلوم هستند؛ اما در عمل اطلاعات کافی درباره توزیع احتمال متغیرهای مورد مطالعه همیشه در دسترس نیست و همچنین با اطلاعاتی در فضاهایی با ابعاد بالا مواجه هستیم؛ که در چنین مواقعی روش‌های کلاسیک خوب جواب نمی‌دهند.

$$y = f(x) = \text{sign}[\sum_{i=1}^N y_i a_i K(x_i, x) + b] \quad (19)$$

تابع $K(x, x_i)$ ، تابع کرنلی است که برای ایجاد ماشین‌های با انواع مختلفی از سطوح غیر خطی در فضای داده‌ها، ضربه‌ای داخلی تولید می‌کند. برای مدل رگرسیون ماشین بردار پشتیبان از کرنل‌های مختلفی استفاده می‌شود که معمولاً تابع کرنل گوسی شعاعی عملکرد بهتری دارد. معادله این تابع کرنل به صورت زیر است.

$$K(x, y) = \exp\left(-\frac{\|x - y\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (20)$$

در ساخت یک مدل کارآمد ماشین بردار پشتیبان، پارامترهای مدل باید با استفاده از یک روش بهینه‌سازی به طور دقیق محاسبه گردند. این پارامترها عبارتند از:

- نوع تابع کرنل
- پارامتر تابع کرنل σ^2
- پارامتر تنظیم‌کننده C
- پارامتر دقت ε مربوط به حداکثر خطا در ناحیه ε -Insensitive

۵- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

۵-۱- آنالیز همبستگی انواع شاخص گیاهی

با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده که بر اساس کتابخانه‌های طیفی محاسبه گردید و روابط شاخص‌های گیاهی که در قسمت قبل اشاره شد، هفت شاخص گیاهی برای هر یک از داده محاسبه گردید و سپس با استفاده از نرم افزار متلب همبستگی بین هر گروه از داده‌ها با ضریب گسیل آن گروه محاسبه شد نتایج این محاسبات در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی همبستگی شاخص‌های گیاهی و ضریب گسیل

نوع	SR	NDVI	EVI	TVI	SAVI	MSAVI	LAI
خاک	۰/۷۸۸۵	۰/۷۹۲۶	۰/۷۰۰۲	۰/۷۹۲۴	۰/۶۲۵۶	۰/۵۴۹۸	۰/۷۹۱۲
سنگ	۰/۴۶۶۵	۰/۴۸۸۵	۰/۴۵۸۰	۰/۴۹۳۶	۰/۴۴۶۱	۰/۴۳۳۶	۰/۴۷۷۷
گیاه	۰/۹۸۹۳	۰/۹۸۶۲	۰/۹۸۳۷	۰/۹۸۶۰	۰/۹۷۷۸	۰/۹۷۹۰	۰/۹۸۹۲
آب، یخ و برف	۰/۴۰۵۹	۰/۴۱۹۹	۰/۳۱۸۷	۰/۴۲۷۸	۰/۳۲۰۷	۰/۳۱۵۶	۰/۴۱۲۴

تابع رگرسیون به وسیله تابع زیر تخمین زده می‌شود:

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b \quad (16)$$

که $\langle \cdot \rangle$ ضرب داخلی می‌باشد. تابع بهینه رگرسیون به وسیله مینیمم تابع زیر بیان می‌گردد:

$$\Phi(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i^- + \xi_i^+) \quad (17)$$

$$\text{subject to } \begin{cases} y_i - (\langle w, x_i \rangle + b) \leq \varepsilon + \xi_i \\ (\langle w, x_i \rangle + b) - b \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i \xi_i^* \geq 0 \end{cases}$$

که C یک مقدار از پیش تعیین شده بوده و ξ ، ξ^* متغیرهای شل هستند که قیود بالا و پایین خروجی سیستم را تعیین می‌کنند.

اگر داده‌ها به صورت خطی مجزا از هم باشند، یک سطح بهینه که داده‌ها را بدون خطا و با حداکثر فاصله میان صفحه و نزدیکترین نقاط آموزشی (بردارهای پشتیبان) تفکیک می‌نماید، آموزش می‌دهد. اگر نقاط آموزشی را به صورت $[x_i, y_i]$ و بردار ورودی تعریف کنیم، در حالتی که داده‌ها به صورت خطی قابل تفکیک باشند، معادله به صورت زیر است:

$$y = f(x) = \text{sign}[\sum_{i=1}^N y_i a_i \langle x_i, x \rangle + b] \quad (18)$$

که در آن y خروجی معادله و y_i ارزش طبقه نمونه آزمایشی x_i می‌باشد. بردار $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ نشان دهنده یک داده ورودی و بردارهای $x_i, i=1, 2, \dots, N$ بردارهای پشتیبان هستند. اگر داده‌ها به صورت خطی قابل تفکیک نباشند، می‌توان با اعمال پیش پردازش، نمونه‌ها را به فضایی بالاتر برد. در این حالت رابطه ۱۸ را می‌توان به شکل ۱۹ تغییر داد:

۷- با توجه به همبستگی قابل قبولی که بین شاخص‌های گیاهی و ضریب گسیل وجود دارد و همچنین عدم نیاز این شاخص‌ها به اطلاعات جانبی استفاده از این شاخص‌های گیاهی برای تعیین ضریب گسیل می‌تواند مناسب باشند

۸- در بین تمامی مقادیر ضریب همبستگی، ضریب همبستگی ۰/۹۸۹۳ بالاترین مقدار میباشد که مربوط به کلاس گیاه برای شاخص گیاهی کسر ساده است؛ و در بین تمامی مقادیر ضریب همبستگی مقدار ۰/۳۱۵۶ کمترین مقدار است که مربوط به کلاس آب، برف و یخ برای شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده است.

موضوع دیگری که اهمیت ویژه‌ای دارد تعیین حدآستانه برای تفکیک سه کلاس اصلی خاک، گیاه و تلفیق خاک و گیاه برای هر شاخص گیاهی می‌باشد و با توجه به اینکه پژوهش‌ای در این زمینه برای ماهواره لندست-۸ انجام نشده است و اهمیت این مقادیر در روش پیشنهاد شده برای تعیین ضریب گسیل در این تحقیق این پژوهش انجام گرفت.

۵-۲- آنالیز مقادیر انواع شاخص گیاهی

در آنالیز که بر روی داده‌های شاخص گیاهی انجام گرفت، مقادیر هر شاخص گیاهی برای داده‌های شبیه سازی شده لندست-۸ بررسی شدند. برای هر شاخص گیاهی بیشینه مقدار، کمینه مقدار، میانگین و انحراف معیار آن محاسبه شد. نتایج این ارزیابی در جدول ۲ آمده است. مقادیر بالا در هر خانه مربوط به کلاس خاک و پایین مربوط به کلاس گیاه است. با توجه به جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت:

با بررسی نتایج به دست آمده از ارزیابی همبستگی شاخص‌های گیاهی و ضریب گسیل می‌توان نتیجه گرفت:

۱- در بین انواع داده‌ها، داده‌های نوع گیاهی دارای بیشترین همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و ضریب گسیل هستند و بعد از آنها داده‌های نوع خاک قرار دارند. داده‌های نوع سنگ و آب، برف و یخ هم در مرتبه سوم و چهارم در میزان همبستگی قرار دارند.

۲- در مورد داده‌های نوع خاک، شاخص‌های گیاهی تفاضلی نرمال‌شده و شاخص سطح برگ دارای بیشترین همبستگی و شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده دارای کمترین همبستگی هستند.

۳- در مورد داده‌های نوع سنگ، شاخص‌های گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص سطح برگ و شاخص گیاهی تبدیل شده بیشترین همبستگی و شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده کمترین همبستگی را دارد.

۴- در مورد داده‌های نوع گیاه، شاخص‌های گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص سطح برگ دارای بیشترین همبستگی هستند.

۵- در مورد داده‌های نوع آب، برف و یخ، شاخص‌های گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص سطح برگ و شاخص گیاهی تبدیل شده بیشترین همبستگی و شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک اصلاح شده و شاخص گیاهی بارز شده کمترین همبستگی را دارند.

۶- بطور کلی می‌توان از دو شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده و سطح برگ به‌عنوان شاخص‌های مناسب، در میزان همبستگی با ضریب گسیل نام برد.

جدول ۲- آنالیز عددی مقادیر شاخص‌های گیاهی

LAI	MSAVI	SAVI	TVI	EVI	NDVI	SR	نوع	
۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۹۲	۰/۱۵	۰/۳۵	۲/۰۹	خاک	بیشینه
۰/۷۳۸	۰/۷۳۸	۰/۶۸۷	۱/۱۶۲	۰/۵۴۲	۰/۸۵۲	۱۲/۵۱۷	گیاه	
-۰/۳۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۷۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۱/۰۲	خاک	کمینه
۰/۷۰۱	۰/۷۰۱	۰/۶۵۴	۱/۱۵۴	۰/۵۳۸	۰/۸۲۳	۱۱/۰۲۲	گیاه	
-۰/۰۱۷	۰/۱۲۴	۰/۱۳۶	۰/۸۳۰	۰/۰۷۷	۰/۱۹۲	۱/۵۰۹	خاک	میانگین
۰/۷۲۳	۰/۷۲۲	۰/۶۷۲	۱/۱۵۸	۰/۵۴۰	۰/۸۴	۱۱/۶۵۹	گیاه	
۰/۲۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۲۹	خاک	انحراف معیار
۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹۳	۰/۷۷	گیاه	

تعیین حد آستانه بر اساس جمع میانگین و انحراف معیار برای هر شاخص با توجه به جدول مربوطه استفاده نمود.

۵-۳- رگرسیون بین ضریب گسیل و شاخص گیاهی

با توجه به همبستگی قابل قبول شاخص‌های گیاهی با ضریب گسیل، استفاده از آن‌ها در تعیین ضریب گسیل می‌تواند راه گشا باشد.

لذا در این مرحله ایجاد رگرسیون بین شاخص گیاهی و ضریب گسیل از طریق روش رگرسیون کمترین مربعات و رگرسیون بردار پشتیبان انجام گرفته است.

۵-۳-۱- کلاس خاک

در این مرحله به ایجاد رگرسیون بین شاخص گیاهی و ضریب گسیل برای کلاس خاک از طریق روش رگرسیون کمترین مربعات و رگرسیون بردار پشتیبان پرداختیم. نتایج رگرسیون کمترین مربعات به صورت خطی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج این رگرسیون نشان می‌دهد:

۱- بیشینه میانگین برای کلاس‌های گیاه و خاک مربوط به شاخص گیاهی کسر ساده می‌باشد و کمینه میانگین مربوط به شاخص گیاهی بارز شده می‌باشد.

۲- بیشینه انحراف معیار برای کلاس‌های گیاه و خاک مربوط به شاخص گیاهی کسر ساده می‌باشد و کمینه انحراف معیار مربوط به شاخص گیاهی بارز شده می‌باشد.

۳- مقادیر انحراف معیار شاخص‌ها عموماً در کلاس گیاه از همه کمتر است که این موضوع سبب می‌شود که تعیین کلاس گیاهی از شاخص‌های فوق با دقت قابل قبول تری انجام شود.

۴- با توجه به این که مقادیر انحراف معیارها برای شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده و سطح برگ پایین است تعیین حد آستانه برای انواع کلاس‌ها با استفاده از این دو شاخص دقت قابل قبول تری را دارد.

۵- اختلاف بین مقدار کمینه و بیشینه در شاخص گیاهی کسر ساده از سایر شاخص‌ها بیشتر و در شاخص گیاهی بارز شده از سایر شاخص‌ها کمتر است.

۶- در بین مقادیر به دست برای میانگین شاخص‌ها آمده فقط شاخص سطح برگ دارای میانگین منفی برای کلاس خاک هست.

۷- با توجه به اینکه یکی از اهداف این آنالیز انتخاب حد آستانه برای کلاس خاک و گیاه است می‌توان از

جدول ۳- نتایج انجام رگرسیون از طریق کمترین مربعات برای کلاس خاک

LAI	MSAVI	SAVI	TVI	EVI	NDVI	SR	نوع
۰/۰۱۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۷۲	۰/۰۹۲	۰/۰۴۳	۰/۰۱۲	باند ۱۰
۰/۰۲۱	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۷۹	۰/۰۹۶	۰/۰۶۹	۰/۰۱۳	باند ۱۱
۰/۹۷۱	۰/۹۶۶	۰/۹۶۸	۰/۹۶۰	۰/۹۱۷	۰/۹۶۱	۰/۹۵۳	باند ۱۰
۰/۹۷۴	۰/۹۶۸	۰/۹۷۱	۰/۹۶۳	۰/۹۲۰	۰/۹۶۴	۰/۹۵۸	باند ۱۱
۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۶	باند ۱۰
۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۵	باند ۱۱

• Emissivity = P₁*VI+P₂

۳- در بین رگرسیون‌ها کمترین RMSE، مربوط به شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده، شاخص گیاهی تبدیل شده و شاخص سطح برگ می‌باشد. انجام رگرسیون با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت و با روش

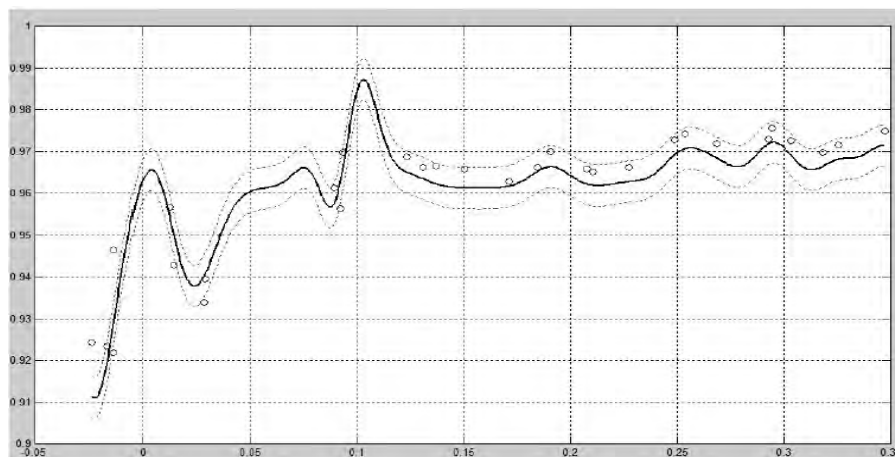
۱- بیشترین شیب مربوط به شاخص گیاهی بارز شده و کمترین آن مربوط به شاخص کسر ساده می‌باشد.

۲- بیشترین عرض از مبدأ مربوط به شاخص گیاهی سطح برگ و کمترین آن مربوط به شاخص گیاهی تبدیل شده می‌باشد.

برای باند ۱۰ به دست آمد. شکل ۱ نتیجه رگرسیون بردار پشتیبان برای شاخص NDVI و ضریب گسیل باند ۱۰ را نشان می‌دهد. را نشان می‌دهد. اگر در این روش به عنوان داده آموزشی، از داده‌های اسپکترومتری منطقه مورد مطالعه استفاده کنیم احتمالاً دقت این روش بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته باشد اما در عمل این اتفاق به ندرت امکان پذیر است. با توجه به اینکه روش رگرسیون بردار پشتیبان نیاز به داده آموزشی دارد و از سوی دیگر این روش دقت بهتری را نسبت به روش‌های کلاسیک نشان نداد استفاده از روش‌های کلاسیک می‌تواند راه‌حل مناسب‌تری باشند. در روش رگرسیون خطی نیازی به داده آموزشی نیست و ضرایب و رابطه آن برای تمامی مناطق ثابت می‌باشد.

رگرسیون‌های کلاسیک مقایسه شد. برای این منظور با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده برای شاخص NDVI این روش رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت. تعیین پارامترهای این روش از طریق آزمون و خطا در جهت رسیدن به بهترین برازش ممکن به داده‌های NDVI انجام گرفت.

به این ترتیب کرنل گوسین با سیگمایی برابر با ۰/۰۰۹ انتخاب شد. مقدار پارامتر هزینه برابر ۱۱ تعیین شد. حد آستانه بردار پشتیبان یعنی عدد اپسیلون مقدار ۰/۰۰۵ با توجه به دقت مورد نیاز در تعیین ضریب گسیل انتخاب گردید. با توجه به عدم دسترسی به داده زمینی اسپکترومتری برای ارزیابی، با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده مستقل روش فوق را ارزیابی کردیم که نتیجه ارزیابی مقدار خطا RMSE برابر با مقدار ۰/۰۰۹



شکل ۱- نتیجه رگرسیون بردار پشتیبان برای کلاس خاک (نمودارهای قرمز: بردارهای پشتیبان، محور افقی: شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده، محور عمودی: ضریب گسیل)

و گیاه بر اساس وزنی منحصر به فرد درونیابی انجام شد. این مدل به شکل معادله ۲۱ است.

$$\varepsilon_i = (\varepsilon_{v,i} - \varepsilon_{s,i}) \times \left[\frac{VI - Th_{soil}}{Th_{vegetation} - Th_{soil}} \right]^2 + \varepsilon_{s,i} \quad (21)$$

در رابطه فوق Th حد آستانه شاخص مورد استفاده برای تفکیک کلاس گیاه و خاک است که در قسمت ۲-۵ توضیح داده شد، VI مقدار شاخص گیاهی مورد استفاده می‌باشد، ε_s ضریب گسیل کلاس خاک که در قسمت ۳-۵

۵-۳-۲- کلاس گیاه

برای مواد گیاهی با توجه به تغییرات ناچیز ضریب گسیل برای داده‌های شبیه‌سازی شده، مقداری ثابت انتخاب گردیده است. این مقادیر ثابت بر اساس میانگین ضریب گسیل این باندها انتخاب شدند که به ترتیب برابر ۰/۹۸۵ و ۰/۹۸۸ برای باند ۱۰ و ۱۱ می‌باشند.

۵-۳-۳- کلاس مخلوط خاک و گیاه

در این قسمت از مدلی مشابه مدل ارائه شده توسط سوپرینو در سال ۱۹۹۰ برای مناطق مخلوط خاک و گیاه استفاده گردید. در واقع در این کلاس بین دو کلاس خاک

آستانه‌های ارائه‌شده و نهایتاً استفاده از مدل ارائه‌شده برای هر کلاس برای تعیین مقدار ضریب گسیل در باندهای ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست-۸ استوار است. دقت روش ارائه‌شده با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی‌شده از کتابخانه طیفی ارزیابی شدند که دقت این ارزیابی خطای RMSE برابر ۰/۰۰۷ برای باند ۱۰ و ۰/۰۰۹ برای باند ۱۱ را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است دقت به دست آمده میانگین RMSE برای هفت شاخص می‌باشد. با توجه به سادگی، عدم نیاز این روش به داده‌های جانبی و دقت قابل قبول، این روش می‌تواند روشی مناسب برای تعیین ضریب گسیل از داده‌های لندست-۸ باشد.

به عنوان پیشنهاد در کارهای آتی می‌توان به ایجاد کتابخانه طیفی داخلی با استفاده از اسپکترومتری زمینی روش ارائه‌شده در این مقاله را به صورت بومی کالیبره کرد. همچنین می‌توان ضرایب رگرسیون به دست آمده در این پژوهش را در حالات مختلف جوی مانند وجود هواویزها بررسی و آنالیز کرد.

۱ توضیح داده شد و ε_v ضریب گسیل برای کلاس گیاه که در قسمت ۵-۳-۲ توضیح داده شد.

۵-۴- ارزیابی نتایج

در این بخش با استفاده از مجموعه داده شبیه سازی مستقلی که به صورت تصادفی از کلاس‌های مختلف انتخاب شده بودند روش پیشنهادی مورد ارزیابی و آنالیز قرار گرفت که نتیجه این ارزیابی خطای RMSE برابر ۰/۰۰۷ برای باند ۱۰ و ۰/۰۰۹ برای باند ۱۱ را نشان داد. که با توجه به سادگی روش و عدم نیاز آن به اطلاعات جانبی دقت قابل قبولی می‌باشد.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق روشی بر مبنای شاخص‌های گیاهی برای تعیین ضریب گسیل سطح با استفاده از داده‌های ماهواره لندست-۸ ارائه شد. روش ارائه‌شده بر اساس انتخاب شاخص گیاهی مناسب با توجه به منطقه و تقسیم بندی منطقه مورد نظر به سه کلاس اصلی بر اساس حد

مراجع

- [1] Lia, Z.-L., Wu, H., Wang, N., Qiu, Sh., Sobrino, J.A., Wan, Z., Tang, B.-H. , & Yan, G. (2013). Land surface emissivity retrieval from satellite data. "International Journal of Remote Sensing". 34, 9–10, 3084–3127
- [2] Snyder, W. C., Wan, Z., Zhang, Y., & Feng, Y. Z. (1998). Classification based emissivity for land surface temperature measurement from space. "International Journal of Remote Sensing", 19, 2753–2774.
- [3] Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S. J., Matsunaga, T., & Kahle, A. B. (1996). Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, Version 2.4. In (pp. 1–64). Maryland, USA: NASA/GSFC.
- [4] Van de Griend, A. A., & Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. "International Journal of Remote Sensing", 14, 1119.1131.
- [5] Becker, F., & Li, Z.-L. (1990). towards a local split window method over land surfaces. "International Journal of Remote Sensing", 11, 369–393.
- [6] Kahle, A. B., Madura, D. P., and Soha, J. M., (1980). Middle infrared multispectral aircraft scanner data: analysis for geological application. "Applied Optical", 19, 2279–2290.
- [7] Li, Z.-L., and Becker, F., (1993). Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data. "Remote Sensing of Environment", 43, 67–85.
- [8] Gillespie, A. R. (1995). Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS. TIMS Data Users. Workshop. Pasadena, CA: Jet Propul. Lab., JPL Publication 86–38, 29–44.

- [9] Wan, Z., & Li, Z.-L. (1997). A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data. "IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing", 35, 980–996.
- [10] Kealy, P. S., and Gabell, A. R. (1990). Estimation of emissivity and temperature using alpha coefficients. In proceedings of the second TIMS Workshop, JPL publication 90-55.
- [11] Liang, S., (2000). Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces. Hoboken, "New Jersey: John Wiley & Sons", 534 p.
- [12] Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S., & Kahle, A. B. (1998). A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. "IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing", 36, 1113–1126.
- [13] Forestier. G, Inglada. J, Wemmert. C, and Gançarski. P. (2013) Comparison of optical sensors discrimination ability using spectral libraries. "International Journal of Remote Sensing", 34(7):2327-2349.
- [14] Peres, L. F., & DaCamara, C. C. (2004). Land surface temperature and emissivity estimation based on the two-temperature method: sensitivity analysis using simulated MSG/SEVIRI data."Remote Sensing of Environment", 91, 377–389.
- [15] Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American areas. "Remote Sensing of Environment", 57, 167.184.
- [16] Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco. "International Journal of Remote Sensing", 21, 353.366.
- [17] Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf-area index from quality of light on forest floor. "Ecology", 50, 663.
- [18] ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. and DEERING, D.W.(1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317
- [19] Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., & vanLeeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS. "Remote Sensing of Environment", 59, 440–451.
- [20] Deering. D.W., Rouse. J.W., Haas. R.H., Schell J.A. (1975). Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. Proceedings, Tenth Intern. Symposium of Remote Sensing of Environment, ERIM, Ann Arbor, MI. pp. 1169-1178.
- [21] Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI), "Remote Sensing of Environment". 25:295-309.
- [22] Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., (1994). Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). "Remote Sensing of Environment", 48,119-126.
- [23] Norman, J.M., Campbell, G.S. (1989). Canopy structure. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (Eds.), Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation, Chapman and Hall, London, pp. 301-325.
- [24] Park T. C., Kim T. Y., and Yeo Y. K.(2010). Prediction of the melt flow index using partial least squares and support vector regression in high-density polyethylene (HDPE) process, "Korean J. Chem. Eng.", 27(6), pp. 1662-1668.
- [25] Yin J. (2011).Log prediction for blocked tripe tides with amino acids descriptors (HMLP) by multiple linear regression and support vector regression. "Procedia Environmental Sciences", 8, pp. 173–178.
- [26] Vapnik V. N., Statistical learning theory, Wiley, New York, 1998.
- [27] Basak D., Pal S. and Patranabis D. C. (2007).Support vector regression. "Neural Inf. Process". Vol. 11, pp. 203–225.