بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده منابع طبیعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته منابع طبیعی گرایش جنگل‌داری

عنوان:

بررسی امکان برآورد ذخیره کربن روی زمینی با استفاده از داده‌های سنجنده SPOT-HRG (مطالعه موردی؛ جنگل آموزشی پژوهشی داربکلا)

دانشجو:

معصومه فتح‌الهی

استاد راهنما:

دکتر اصغر فلاح

استاتید مشاور:

دکتر سید محمد حجتی

مهندس سیاوش کلبی

بهمن ۱۳۹۲

دانشکده منابع طبیعی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است.

تقدیم به

دو تکیه‌گاه زندگیم

پدر و مادر مهربانم

و

همراهان همیشگی زندگیم

برادرها و خواهرهای عزیزم

تقدیر و تشکر

اکنون در آغاز یک پایان، خداوند منان را سپاسگزارم که نعمت تحصیل علم و دانش را به من عطا فرمود و مرا یاری نمود تا مرحله‌ی دیگر از زندگی را پشت سر نهاده و با امید به الطاف بی کرانش، خود را برای مراحل دیگر زندگی آماده کنم، که بی لطف او هیچ امری محقق نخواهد بود. اکنون بر خود واجب می‌دانم از همه‌ی عزیزانی که در انجام این پایان‌نامه به هر طریق مرا یاری نمودند، سپاسگزاری کرده و برای آنها آرزوی توفیق روز افزون داشته باشم:

از پدر فداکار، مادر مهربان و خواهران و برادران عزیزم، به خاطر تمام صبوری‌ها و خوبی‌هایشان بی‌نهایت سپاسگزارم و نعمت سلامتی و سعادت دنیا و آخرت و طول عمر با عزت را برایشان آرزومندم.

از مساعدت استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر **اصغر فلاح** که در طی مراحل انجام پژوهش از راهنمایی‌های ارزنده‌شان استفاده نموده و از مکتب این استاد بزرگوار درس‌های زندگی آموختم و بدون شک سالیان متمادی سرمایه‌ی گرانقدر برای این جانب خواهد بود، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از اساتید مشاور ارجمند م جناب آقای دکتر **سیدمحمد حجتی** و جناب آقای مهندس **سیاوش کلبی** که افتخار شاگردیشان را دارم و در وطول انجام این پژوهش از همفکریشان بهره برده و راهنمایی‌های ارزنده‌ای را در جهت تدوین این پژوهش ارائه نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر **سلیمانی** و دکتر **اکبری** که زحمت مطالعه و داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و همچنین جناب آقای دکتر **کاویان** نماینده محترم تحصیلات تکمیلی، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان و همراهان عزیزم **شمیم امینی**، **شهره کاظمی**، **روجا ملازاده**، **معصومه حسنی**، **بنفشه محجوب**، **مرضیه کمالی**، **فاطمه اسکندری منش**، **الهام تیمورنژاد**، **سوگند محمدی**، **شیوا تیمورنژاد**، **مجید سیفی**، **ایوب خضری**، **مجتبی ایمانی**، **یعقوب پاسالاری**، **سوران امینی**، **علی سروآزاد**، **بهروز حسن‌زاده**، **ابراهیم عباسی** که با وجودشان سختی کار برایم آسان شد و همچنین از آقایان **شعبان‌پور**، **فروتن**، **آفریدن**، **برآوردی** و **پیری** تشکر می‌نمایم.

چکیده:

جنگل‌ها بزرگ‌ترین منبع ذخایر کربن در اکوسیستم‌های زمینی هستند. با این حال، به دلیل ساختار پیچیده و وسعت جنگل‌ها، برآورد دقیقی از ذخایر کربن جنگل‌ها در دست نیست. نظارت بر جنگل‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در چند دهه‌ی اخیر، به‌جایی رسیده است که این مجموعه داده‌ها به‌عنوان اطلاعات جهت سیاستگذاری‌های بین‌المللی، به‌طور قابل توجهی در ارتباط با میزان انتشار دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر ناشی از جنگل‌زدایی و سایر تغییرات کاربری اراضی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این مطالعه، تعیین قابلیت داده‌های سنجنده SPOT-HRG در برآورد ذخیره کربن روی زمینی جنگل در سری یک جنگل آموزشی پژوهشی دارابکلا می‌باشد. پیش‌پردازش و پردازش‌های مختلف، جهت حذف و یا کاهش خطای هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر انجام شد. با استفاده از آماربرداری خوشه‌ای، تعداد ۱۶۵ قطعه نمونه مربعی شکل با ابعاد ۳۰×۳۰ متر برداشت گردید. در مجموع ۱۶۵ قطعه نمونه برداشت شده که تعداد ۸۱ قطعه نمونه در رویشگاه طبیعی و ۸۴ قطعه نمونه در قسمت جنگل‌کاری قرار داشت. پس از برداشت داده‌های زمینی، میزان زی‌توده و ذخیره کربن در سطح پلات و در هکتار محاسبه گردید. برای مدلسازی از روش ناپارامتری رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) با کرنل‌های مختلف شامل خطی، سیگموئید، چندجمله‌ای و RBF استفاده شد. با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) بهترین مدل‌های رگرسیونی تولید و با در نظر گرفتن معیارهای اعتبار سنجی بهترین مدل از بین چهار کرنل محاسبه شده انتخاب شد. برای کل منطقه مورد مطالعه مدل چند جمله‌ای درجه سوم با درصد RMSE و درصد اریبی و صحت به ترتیب ۳۸/۴۱ ٪، ۵/۳۱ ٪ و ۶۲/۲ ٪ و برای جنگل طبیعی نیز مدل چند جمله‌ای به‌ترتیب با ۴۲/۷۷ ٪، ۱۶/۵۸ ٪ و ۵۷/۳ ٪ و برای محدوده جنگل‌کاری به‌ترتیب با ۴۴/۷۱ ٪، ۲/۳۱ ٪ و ۶۴/۳ ٪ به‌عنوان بهترین مدل‌ها انتخاب گردید. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که سنجنده SPOT-HRG و الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان دارای قابلیت مناسبی جهت برآورد میزان ذخیره کربن روی زمینی می‌باشد.

کلمات کلیدی: ذخیره کربن روی زمینی، ماشین بردار پشتیبان، SPOT-HRG، دارابکلا

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱مقدمه و بیان مسأله ۲

۱-۲ فرضیات ۳

۱- ۳ اهداف ۴

۱-۴ تعاریف و مفاهیم ۴

۱-۴-۱ ذخیره کربن ۴

۱-۴-۲ سنجش از دور ۴

۱-۴-۳ ماهواره اسپات (SPOT) ۵

۱-۴-۴ سنجندهHRG ۶

۱-۴-۵ خطاهای داده‌های ماهواره‌ای ۷

۱-۴-۶ تبدیل‌های طیفی و مکانی ۱۰

۱-۴-۷ استخراج اطلاعات ماهواره‌ای ۱۲

۱-۴-۸ مدل‌سازی بیوفیزیکی ۱۲

۱-۴-۹ بررسی روابط رگرسیونی بین پدیده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای ۱۳

۱-۴-۱۰ ماشین‌های بردار پشتیبان ۱۴

فصل دوم: پیشینه پژوهش ۲۳

۲-۱ مطالعات انجام شده در ایران ۲۴

۲-۲ مطالعات انجام شده در خارج از ایران ۲۷

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳۲

۳-۱ منطقه مورد مطالعه ۳۳

۳-۱-۱وضعیت جنگل‌شناسی منطقه ۳۳
۳-۲ داده‌های مورد استفاده ۳۴
۳-۲-۱ داده‌های ماهواره‌ای ۳۴
۳-۲-۲ نقشه‌های توپوگرافی ۳۵
۳-۳ نرم‌افزارهای مورد مطالعه ۳۵
۳-۴ تهیه نقشه اطلاعات زمینی ۳۵
۳-۴-۱ مساحت و شکل قطعه نمونه ۳۶
۳-۴-۲ محاسبه ذخیره کربن روی زمینی ۳۷
۳-۵ بررسی کیفیت تصاویر ۳۸
۳-۵-۱ تصحیح هندسی ۳۸
۳-۵-۲ تصحیح اتمسفری ۳۹
۳-۶ پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۳۹
۳-۶-۱ نسبت‌گیری طیفی ۴۰
۳-۶-۲ تجزیه و تحلیل اجزای اصلی سازنده تصویر (PCA) ۴۵
۳-۷ استخراج ارزش‌های طیفی ۴۶
۳-۸ بررسی روابط رگرسیونی بین ذخیره کربن و ارزش‌های طیفی ۴۶
۳-۹ اعتبارسنجی مدل ۴۷
نتایج ۴۹
۴-۱ مشخصه‌های توصیفی ۵۰
۴-۲ تجزیه مولفه‌های اصلی ۵۱
۴-۳ تجزیه و تحلیل داده‌های زمینی و مقادیر استخراج شده از باندهای طیفی ۵۱

بحث..... ۵۸
۵-۱ نتیجه‌گیری نهایی..... ۶۲
۵-۲ پیشنهادات..... ۶۳
منابع و مأخذ..... ۶۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱: سنجنده‌های Spot ۵
جدول ۱-۲: مشخصات سنجنده‌های ماهواره SPOT ۷
جدول ۳-۱: شاخص‌های گیاهی حاصل از نسبت‌گیری‌های طیفی ۴۱
جدول ۴-۱: مشخصه‌های توصیفی منطقه جنگل طبیعی ۵۰
جدول ۴-۲: مشخصه‌های توصیفی منطقه جنگل‌کاری ۵۰
جدول ۴-۳: نتایج حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی و درصد واریانس سه مولفه اول ۵۱
جدول ۴-۴:مشخصات توصیفی مدل و ارزیابی برای ذخیره کربن روی زمینی ۵۲
جدول ۴-۵: نتایج مربوط به آنالیز SVM برای تعیین بهترین پارامترها با استفاده از روش جستجوی شبکه‌ای برای مشخصه ذخیره کربن برای کل منطقه ۵۲
جدول ۴-۶: نتایج مربوط به آنالیز SVM برای تعیین بهترین پارامترها با استفاده از روش جستجوی شبکه‌ای برای مشخصه ذخیره کربن در جنگل طبیعی ۵۳
جدول ۴-۷: نتایج مربوط به آنالیز SVM برای تعیین بهترین پارامترها با استفاده از روش جستجوی شبکه‌ای برای مشخصه ذخیره کربن در جنگل‌کاری ۵۳
جدول ۴-۸: نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مختلف در کل منطقه ۵۴
جدول ۴-۹: نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مختلف در جنگلکاری ۵۴
جدول ۴-۱۰: نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مختلف در جنگل طبیعی ۵۵
جدول ۴-۱۱: همبستگی بین باندهای مصنوعی و کربن در کل منطقه ۵۵

فصل اول:

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه و بیان مسأله

گرم شدن هوا یک پدیده جهانیست و ناشی از افزایش ممتد گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و حاصل مصرف رو به ازدیاد سوخت‌های فسیلی، از بین رفتن جنگل‌ها، چرای بی‌رویه مراتع، تغییر کاربری و برخی فعالیت‌های منجر به توسعه در زندگی بشر است (بابایی کفاکی، ۱۳۸۳). دی‌اکسید کربن یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای است که به‌تدریج باعث افزایش درجه حرارت کره زمین می‌شود (کین[۱] و همکاران، ۲۰۰۶). لذا با روند رو به رشد میزان غلظت CO_2، در آینده شاهد مشکلات بیشتری در جهان خواهیم بود. چنانچه نرخ فعلی افزایش دی اکسید کربن اتمسفر تداوم داشته باشد، حدود سال‌های ۲۰۴۰، غلظت دی اکسید کربن دو برابر و در نتیجه درجه حرارت کره زمین حدود ۲ درجه افزایش خواهد یافت (رحیمی، ۱۳۸۳).

بخش اعظمی از کربن در اقیانوس‌ها محبوس شده و به صورت ذخیره نگهداری می‌شود، اما مخازن اقیانوس‌ها آنقدر بزرگ نیستند که بتوانند کل کربن اضافی را در خود ذخیره کنند، از این‌رو کربن مازاد باید در خشکی ذخیره شود (پناهی و همکاران، ۱۳۹۰). در اکوسیستم‌های خشکی، گیاهان دی‌اکسید کربن را از اتمسفر جذب و طی فرآیند فتوسنتز در زی‌توده خود ذخیره می‌کنند. به‌طوری که در فرآیند تنفس بخشی از کربن ذخیره شده به اتمسفر منتشر می‌شود (سان و همکاران[۲]، ۲۰۰۴).

جنگل‌ها از مهمترین اکوسیستم‌های خشکی هستند و نقش مهمی در جریان انرژی، ماده و تبدیل این دو بین زمین و اتمسفر بازی می‌کنند (سان و همکاران، ۲۰۰۴). آنها عمدتاً از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان دی اکسید کربن در اتمسفر، اثر سوء گازهای گلخانه‌ای را به طور عمده تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به‌طوری‌که با رشد درختان جنگلی کربن موجود در اتمسفر جذب چوب، برگ‌ها و خاک می‌گردد. برای درک میزان بودجه کربن جهانی و تغییرات آب و هوایی، برآورد دقیق ذخایر کربن در جنگل بسیار مهم است (اوماسا و همکاران[۳]، ۲۰۰۳). بر اساس مطالعات صورت گرفته میزان کربن ذخیره شده در اکوسیستم جنگلی در زیست توده حدود ۴۴ درصد، خاک ۴۶ درصد، چوب خشک ۶ درصد و لاشبرگ ۴ درصد می‌باشد (بیژن‌نژاد، ۱۳۶۹). بین حاصلخیزی خاک و شاخص سطح برگ با رویش درختان و میزان زی‌توده ارتباط مستقیمی وجود دارد که از طریق میزان زی‌توده می توان میزان ذخیره کربن را برآورد کرد (آریاس[۴]، ۲۰۰۷). تخمین زی‌توده درخت در ارزیابی ساختار و شرایط جنگل کاربرد دارد (هافتن و گودال[۵]، ۲۰۰۴). تولید جنگل، ذخیره و جریان کربن بر مبنای اندازه‌گیری‌های زی‌توده محاسبه می‌گردد و ذخیره کربن در قسمت‌های مختلف گیاه مانند چوب و برگ و ریشه به‌عنوان شاخصی از تولید رویشگاه محسوب می‌گردند (کلارک و همکاران[۶]،۲۰۰۱). یک مسئله مهم در اندازه‌گیری و پایش پتانسیل ذخیره کربن به‌ویژه در سیستم‌های

---

[۱] Qin

[۲] Sun

[۳] Omasa

[۴] Arias

[۵] Houghton & Goodale

[۶] Clark

اگروفارستری، اندازه‌گیری زی‌توده هوایی گیاه است (ساگلان و همکاران[۱]، ۲۰۰۸). براساس آخرین گزارشات ارائه شده توسط FAO، جنگل‌های جهان حدود ۲۸۹ گیگاتن کربن را در زی‌توده خود ذخیره می‌کنند. در مقیاس جهانی تخمین زده شده است که ذخیره کربن زی‌توده جنگلی بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۵ سالیانه ۰/۵ گیگا تن کاهش یافته است. دلیل این مسئله تخریب شدید و مدیریت ضعیف توده‌های جنگلی می‌باشد. این در حالیست که فقط در اروپا، آمریکای مرکزی و آمریکای شمالی میزان ذخیره کربن در زی‌توده جنگلی در دهه‌های اخیر افزایش یافته است (فائو[۲]، ۲۰۱۰).

جنگل‌های خزری مهمترین جنگل‌ها از نظر تنوع و موجودی در کشور می‌باشند و نقش مهمی در ذخیره کربن دارند. با توجه به عدم اطمینان از میزان توزیع مکانی ذخایر کربن موجود در جنگل‌ها (هافتون[۳]، ۲۰۰۷) و همچنین تغییرات ایجاد شده در چرخه کربن زمینی از طریق فرآیندهایی مانند جنگل زدایی و تغییر در میزان رویش مجدد جنگل، تعیین میزان تبادل دی اکسید کربن بین سطح زمین و اتمسفر را دشوار می‌نماید (دفرایس[۴]، ۲۰۰۷). در نتیجه، به دلیل ساختار پیچیده، جغرافیای متغیر و سطح وسیع جنگل‌ها، برآورد دقیق ذخایر کربن یک چالش بسیار مهم است (اوماسا و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از مهمترین راه‌ها برای اطلاع از میزان ذخیره کربن جنگل‌ها استفاده از آماربرداری زمینی و عملیات میدانی است. آماربرداری زمینی و استفاده از روش‌های معمول میدانی به منظور تهیه نقشه‌های مربوط به پوشش جنگل، پرهزینه و زمان‌بر است و انجام دوره‌ای آن، بسیار کند بوده (خرمی، ۱۳۸۳) و احتیاج به نیروی کار زیادی دارند (تروتر و همکاران[۵]، ۱۹۹۷).

تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یکی از منابع اطلاعات مکانی نسبت به سایر منابع متداول (نظیر نقشه‌ها) دارای مزایایی از جمله پوشش فراوان، نیاز کمتر به انجام نقشه‌برداری، هزینه کمتر و همچنین به روز بودن اطلاعات می‌باشند که استفاده از آنها را برای کاربر جهت بررسی تغییرات کاربری زمین و کاربردهای زمین شناسی، کشاورزی و جنگل‌داری اجتناب ناپذیر می‌نماید (امینی و همکاران، ۱۳۸۷). از سوی دیگر نتایج حاصل از مطالعات و تحقیقات انجام شده نشان داده است که در شرایط کنونی استفاده از داده‌های دورسنجی به‌صورت یک منبع منفرد، برای جمع‌آوری داده‌ها قابل اتکا نیست؛ بلکه پاره‌ای از ارزیابی‌ها و برآوردها بیانگر دقت بیشتر یافته‌ها درصورت استفاده داده‌های میدانی و غیرطیفی به طور همزمان با داده‌های سنجش از دوری است (هولمگرن و همکاران[۶]، ۲۰۰۰). استفاده توام آنها می‌تواند جانشین مناسبی برای عملیات میدانی باشد.

۱-۲ فرضیات

- داده های طیفی سنجنده SPOT-HRG قابلیت برآورد میزان کربن روی زمینی را با دقت مناسب دارند.

---

[۱] Saglan
[۲] FAO
[۳] Houghton
[۴] DeFries
[۵] Trotter
[۶] Holmgren

- استفاده از روش‌های ناپارامتری مانند ماشین بردار پشتیبان می‌تواند در بالا بردن دقت مدل موثر باشد.

۱-۳ اهداف

- برآورد میزان ذخیره کربن روی زمینی با استفاده از داده های سنجنده SPOT-HRG
- تهیه نقشه ذخیره کربن روی زمینی با استفاده از داده های سنجنده SPOT-HRG
- بدست آوردن بهترین مدل برای برآورد میزان ذخیره کربن روی زمینی

۱-۴ تعاریف و مفاهیم

۱-۴-۱ذخیره کربن

ذخیره کربن نقش مهمی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کند. محققان مختلف تعاریف تقریباً متفاوتی از ذخیره کربن نموده‌اند. گیاهان سبز کربن اتمسفر را از طریق فتوسنتز جذب می‌کنند. آنها دی‌اکسید کربن هوا را می‌گیرند، اتم‌های کربن و اکسیژن آن را از هم جدا می‌کنند و اکسیژن آن را به اتمسفر بر می‌گردانند و از کربن برای تولید زی‌توده به‌صورت ریشه، ساقه، شاخه و برگ استفاده می‌کنند (شلسینگر[۱]، ۱۹۹۹).

۱-۴-۲سنجش از دور

بنا به تعریف، سنجش از دور عبارت است از اندازه‌گیری خصوصیات پدیده‌های سطح زمین با استفاده از داده‌هایی که از راه دور توسط هواپیما و ماهواره کسب می‌شوند (درویش صفت، ۱۳۷۷).

برای سنجش از دور تعارف دیگری نیز ارائه شده است، که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود:

سنجش از دور عبارت است از تشخیص و جمع‌آوری داده از فاصله دور (ویلیامسون[۲]، ۲۰۰۱) و عمدتاً به عنوان فناوری و علمی تعریف می‌شود که به وسیله آن می‌توان بدون تماس مستقیم، مشخصه‌های (مکانی، طیفی، زمانی) یک شیء یا پدیده را تعیین، اندازه‌گیری و یا تجزیه و تحلیل نمود. با نداشتن تماس مستقیم، باید روشی برای انتقال اطلاعات از طریق فضا مورد استفاده قرار گیرد. برای این منظور، واسطه‌های مختلفی مانند میدان جاذبه، میدان مغناطیسی، امواج صوتی و انرژی الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود، فناوری رایج در سنجش از دور، استفاده از امواج الکترومغناطیس است. این تعریف محدوده بسیار وسیعی دارد اما آنچه که امروزه به عنوان سنجش از دور از آن یاد می‌شود، داده‌هایی هستند که از طریق انواع وسایل پرنده از اشیاء، پدیده‌ها و عوارض، ثبت و ارسال شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. سنجش از دور عبارت است از علم و هنر کسب اطلاعات در مورد

[۱] Schlesinge
[۲] Williamson

اجسام، اراضی یا پدیده‌های مختلف، به کمک جمع‌آوری اطلاعات از آنها، البته بدون تماس با پدیده‌های تحت بررسی و به‌طور خلاصه "علم و هنر کسب اطلاعات از پدیده‌ها یا اجسام بدون تماس با آنها". در منابع زمینی سنجش از دور عبارت است از بکارگیری عکس‌های هوایی، عکس‌های فضایی و تصاویر تهیه شده از اطلاعات ماهواره‌ای برای تفسیر و شناسایی و کسب اطلاعات از پدیده‌ها (زبیری و همکاران، ۱۳۸۵).

۱-۴-۳ماهواره اسپات[۱] (SPOT)

در تاریخ ۳ اسفند ۱۳۶۴ هجری شمسی، مطابق با ۲۲ فوریه ۱۹۸۶ میلادی، ماهواره Spot 1 به‌وسیله مرکز ملی مطالعات فرانسه یا سازمان (CNES[۲]) و همکاری کشورهای بلژیک و سوئد، توسط موشک آریان یک، به فضا فرستاده شد.

جدول ۱-۱: سنجنده‌های Spot

ماهواره	پرتاب	پایان مأموریت/ وضعیت	سنجنده‌ها
Spot 1	فوریه ۱۹۸۶	۲۰۰۱	HRV و RBV*
Spot 2	ژانویه ۱۹۹۰	اجرایی	HRV و RBV*
Spot 3	سپتامبر ۱۹۹۳	۱۴ نوامبر ۱۹۹۶	HRV و RBV*
Spot 4	مارس ۱۹۹۸	اجرایی	HRVIR و ابزار گیاهی
Spot 5	مِی ۲۰۰۲	اجرایی	HRG، HRS و ابزار گیاهی
*دوربین‌های ویدیکون پرتو برگردان (RBV) مشکلات فنی داشتند و تصاویر کمی ارائه دادند.			

این ماهواره دارای ۱۷۵۰ کیلوگرم وزن و ابعاد ۲×۲×۳/۵ متر بوده و طول باله خورشیدی آن ۱۵/۶ متر می‌باشد. ماهواره از دو قسمت (بدنه) و بار مفید (سنجنده) تشکیل شده است. ماهواره در دایره‌ای شبه قطبی (۹۸/۷ درجه)، در ارتفاع ۸۳۲ کیلومتری، هر ۱۰۱/۴ دقیقه، یک دور به دور کره زمین می‌چرخد. زمان عبور در خط استوا ۱۰:۳۰ صبح است. تعداد دوران در هر شبانه روز ۱۴/۲ می‌باشد، و پس از ۲۶ روز و ۳۶۹ گردش به دور زمین، تمام سطح زمین را می‌پیماید.

ماهواره SPOT ۵ به سه سنجنده اصلی با نام‌های HRG[۳]، HRS[۴] و سنجنده Vegetation مجهز است. مزیت

[۱] Satellite Pour Observation de La Terre

[۲] Centre National d, Etudes Spatial

[۳] High Resolution Geometrical

[۴] High Resolution Stereoscopy

اصلی این ماهواره نسبت به خانواده قبلی آن، امکان زمین مرجع نمودن آنها با دقت بالاتر است به طوری که دقت مکانی سنجنده HRG در حدود ۵۰ متر و تصاویر سنجنده HRS در حدود ۲۰ متر بدون نیاز به کنترل نقاط زمینی است که این دقت در تصاویر اسپات ۴ در حدود ۳۵۰ متر بود (ادهمی و خلاقی، ۱۳۸۶). این قابلیت مرهون استفاده از سیستم‌های کنترل زمینی و سیستم‌های تعیین موقعیت پیشرفته روی ماهواره شامل GPS[۱]، Star Tracker و سیستم Doris است.

اهداف اصلی این ماهواره عبارتند از:

- مطالعه استفاده از اراضی
- برآورد موجودی منابع طبیعی تجدید شونده
- کمک به مطالعه مواد معدنی و نفت
- تهیه نقشه‌های مقیاس متوسط و تهیه نقشه‌های جدید

به هنگام نمودن یا تصحیح نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰.

۱-۴-۴سنجنده HRG[۲]

هر وسیله‌ای که اشعه الکترومغناطیسی منعکس شده از پدیده‌های مختلف یا سایر انرژی‌های ساطع شده را جمع‌آوری نموده و به شکلی مناسب، برای کسب اطلاعات از محیط اطراف ارائه می‌دهد، سنجنده نامیده می‌شود.

دو سنجنده HRG نصب شده بر روی ماهواره اسپات ۵ در واقع نمونه پیشرفته سنجنده‌های HRV اسپات ۴ است. هر یک از این سنجنده‌ها قابلیت اخذ دو تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک ۵ متر، سه تصویر چند طیفی در باند مرئی با قدرت تفکیک ۱۰ متر و یک تصویر چند طیفی در محدوده مادون قرمز با قدرت تفکیک ۲۰ متر می‌باشد (جدول ۱-۲). همچنین این سنجنده‌ها توانایی تصویربرداری مایل با زاویه ۲۷ درجه از امتداد نادیر را دارند. با استفاده از فرآیندی به نام سوپرمد[۳]، دو تصویر ۵ متری هر یک از سنجنده‌های HRG پس از دریافت در روی زمین با یکدیگر تلفیق شده و تصویر پانکروماتیک ۲/۵ متر حاصل می‌شود. طبق ادعا شرکت Spot image تصاویر ۲/۵ متری برای تولید و به هنگام سازی نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ مناسب هستند.

[۱] Global Positioning System

[۲] Sensor

[۳] Supermode

جدول ۱-۲: مشخصات سنجنده‌های ماهواره SPOT

	مشخصات طیفی ماهواره‌های SPOT					
	SPOT1,2,3	SPOT4		SPOT5		
سنجنده	HRV1,2	HRVIR1,2	VEG INSTRUMENT	HRG1,2	VEG INSTRUMENT	HRS
باندهای طیفی و اندازه تفکیک مکانی (متر)	پانکروماتیک -۱۰ ۳چند طیفی- ۲۰	پانکروماتیک- ۱۰ ۳ باند چند طیفی - ۲۰ ۱ باند مادون قرمز با طول موج کوتاه- ۲۰	۴ باند طیفی با اندازه تفکیک -۱۰۰متر	۲باند پانکروماتیک ۵ متر ترکیب شده برای تولید ۱باند ۲/۵ متر ۳ باند چند طیفی ۱۰ متر ۱ باند با طول موج کوتاه ۲۰ متر	۴ باند طیفی با اندازه تفکیک- ۱۰۰۰متر	پانکروماتیک ۱۰ متر
دامنه طیفی(µm)	p=۰/۵-۰/۷۳ B1(G):۰/۵-۰/۵۹ B2(R):۰/۶۱-۰/۶۹ B3(NIR):-۰/۸۹ ۰/۷۸	M:۰/۶۱ -۰/۶۸ B1:۰/۵-۰/۵۹ B2 :۰/۷۸-۰/۸۹ B4:۱/۵۸-۱/۷۵	B(1):۰/۴۵-۰/۵۲ B2:۰/۶۱-۰/۶۸ B(3):۰/۷۸-۰/۸۹ B4:۱/۵۸-۱/۷۵	P:۰/۴۸-۰/۷۱ B1:۰/۵-۰/۵۹ B2:۰/۶۱-۰/۶۹ B3:۰/۷۸-۰/۸۹ B4:۱/۵۸-۱/۷۵	B(1):۰/۴۵-۰/۵۲ B2:۰/۶۱-۰/۶۸ B(3):۰/۷۸-۰/۸۹ B4:۱/۵۸-۱/۷۵	P:۰/۴۹-۰/۶۹
نوار برداشت عرض (کیلومتر)	۶۰*۶۰ تا ۸۰	۶۰*۶۰ تا ۸۰	۲/۲۵	۶۰*۶۰ تا ۸۰	۲/۲۵	۶۰*۱۲۰
توان تفکیک رادیومتریک (bit)	۸	۸	۱۰	۸	۱۰	۸
امکان تصویر برداری مجدد	۲ تا ۳ روز	۲ تا ۳ روز	۱ روز	۲ تا ۳ روز	۱ روز	
تصویربرداری مایل	عمود بر مسیر پرواز	عمود بر مسیر پرواز	------	عمود بر مسیر پرواز	---------	در طول مسیر پرواز

۱-۴-۵ خطاهای داده‌های ماهواره‌ای

۱-۴-۵-۱ تصحیح پراکنش اتمسفری[۱]

اتمسفر بر روی طول موج‌های کوتاه‌تر از ۰/۵ میکرومتر، بیشترین و طول موج‌های بلندتر، کمترین تأثیر پراکنش را دارد. پراکنش اتمسفری سبب پایین آمدن تباین در شکل می‌شود، به‌عبارتی موجب روشنایی اضافی شکل شده و در نتیجه مشکلاتی برای شناسایی پدیده‌ها ایجاد می‌کند. پراکنش اتمسفری بر هر کدام از باندها اثر متفاوت دارد (علوی پناه، ۱۳۸۲).

دو روش اصلی برای تصحیح اتمسفری وجود دارد. اولین روش با استفاده از هیستوگرام است که در این روش، هیستوگرام‌های باندها به‌صورت مجزا محاسبه و ترسیم می‌گردد. برای حذف آثار جوی می‌توان حداقل DN را از DN باندهای دیگر کسر کرد (علوی پناه، ۱۳۸۲).

[۱] Haze correction

دومین روش در مناطقی کاربرد دارد که بخش‌های تیره (آب صاف، سایه و بازالت) دارند. در این روش، DN باند مادون قرمز روی محور X در مقابل سایر باندها روی محور Y ترسیم می‌شود. سپس با استفاده از روش رگرسیون استاندارد، بهترین خط مستقیم برازش داده می‌شود. انحراف از محور X نشان دهنده مقدار اثر پراکنش اتمسفری است (علوی پناه، ۱۳۸۲).

۱-۴-۵-۱-۱ تصحیح اتمسفری به روش COST

به دلیل عدم ثبت دقیق پارامترهای درجه حرارت، بارندگی و دیگر مشخصه‌های مورد نیاز روش‌های تصحیح اتمسفری پیشرفته منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق از روش COST استفاده شد. روش COST توسط چاوز[1] در سال ۱۹۸۸ توسعه یافته و سعی در تصحیح نسبی و کاهش اثر اتمسفری دارد. در روش COST برای تصحیح اثر پخش و جذب توسط گازهای اتمسفری از پارامتر $(\cos(TZ))^2$ استفاده می‌شود. در استفاده از این روش، ابتدا ارزش رقومی تصاویر[3] با استفاده از رابطه ۱-۱ به تابش[4] تبدیل می‌شود.

$$L_{sat}=[L_{min}+(L_{max}-L_{min})/DN_{max}]DN \qquad ۱-۱$$

به طوری‌که:

L_{sat}: تابش طیفی از سنجنده

L_{min}: حداقل تابش طیفی برای هر باند

L_{max}: حداکثر تابش طیفی برای هر باند

DN_{max}: حداکثر ارزش طیفی برای هر باند

سپس با استفاده از رابطه (۱-۲) تابش طیفی حاصله به انعکاس طیفی اشیاء بر روی سطح زمین تبدیل می‌شود.

$$Ref = \pi\,(L_{sat}-L_{Haze})/(E_0\cos(TZ)) \qquad ۲-۱$$

Ref: انعکاس طیفی اشیاء بر روی سطح زمین

L_{sa}: تابش طیفی از سنجنده

[1]- Chavez
[2]- Cosine of sun zenith angle
[3]- Digital number
[4]- Radiance

L_{Haze}: تیرگی هوا

E_0: میانگین تابش‌های خورشیدی خارج از اتمسفر[۱]

TZ: میانگین زاویه تابش خورشید

۱-۴-۵-۲ تصحیح هندسی[۲]

معمولاً به‌دلیل حرکات ماهواره و زمین در حین تصویربرداری، خطاهایی بر روی تصاویر پدید می‌آید که قبل از برطرف کردن آنها، تصویر ماهواره‌ای، با نقشه‌های همسان، مطابقت کامل ندارد و از این رو در برخی مطالعات به‌ویژه در مواقعی که اندازه‌گیری سطح پدیده‌ها مطرح است یا در مواردی که انطباق پدیده‌های تصویر با نظیر آنها برروی زمین مورد توجه است، مشکلاتی بروز می‌کند (زبیری و همکاران، ۱۳۸۵).

منظور از تصحیح هندسی، جبران انحراف‌هاست، به نحوی که شکل تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد. مراحل تصحیح هندسی به‌شرح زیر است:

۱- تغییر سیستم مختصات پیکسل‌های شکل

ابتدا نقاط کنترلی به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب بر روی نقشه و شکل انتخاب می‌شود. در انتخاب این نقاط باید دقت کافی شود، زیرا نقاطی که دچار تغییر شده باشند یا اینکه اندازه آنها خیلی بزرگتر از یک پیکسل باشد موجب بروز خطا می‌شود(علوی پناه، ۱۳۸۲).

اصولا دو نوع تصحیحات هندسی برای تصاویر رقومی ماهواره‌ای مطرح است: ۱) تصحیحات سیستماتیک ۲) تصحیحات غیر سیستماتیک (علوی پناه، ۱۳۸۲)

تصحیحات سیستماتیک به‌دلیل ثابت بودن تغییرات، قبل از آنکه در دسترس استفاده کنندگان قرار گیرد، انجام می‌شوند. تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای طی دو مرحله زیر انجام می‌پذیرد (علوی پناه، ۱۳۸۲):

۱) زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای[۳] ۲) نمونه برداری مجدد[۴]

تصاویر ماهواره‌ای دارای فرمت رستر[۵] می‌باشند و پیکسل‌های این تصاویر سطر و ستون‌هایی می‌سازند که هیچ گونه ارتباطی با مختصات زمینی ندارند. بنابراین برای زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای باید نقاط کنترل به تعداد قابل قبول با پراکنش مناسب بر روی نقشه و شکل در نظر گرفته می‌شوند (علوی‌پناه، ۱۳۸۲).

---

[1]-Mean solar exo-atmospheric irradiance

[۲] Geometric Correction

[۳] Image refrencing

[۴] resampling

[۵] raster

نقاط کنترل زمینی (GCP[1]) نقاطی از سطح زمین هستند که روش تصحیح هندسی بر مبنای آنها انجام خواهد گرفت. چنین نقاطی باید به خوبی تعریف شده و بر روی تصویر مورد استفاده به آسانی و به‌طور واضح تشخیص داده شوند و بتوان آنها را اندازه‌گیری کرد. معمولاً GCPها از پدیده‌هایی مانند تقاطع جاده و آبراهه، تقاطع یا گوشه‌های دیوار و حصارها، پل‌ها و نقاط توپوگرافیک خیلی مشخص همانند دماغه کاملاً مشخصی که به دریاچه منتهی می‌شود، تشکیل می‌شوند (درویش‌صفت و همکاران، ۱۳۹۱).

۱-۴-۶ تبدیل‌های طیفی و مکانی[2]

تبدیل‌های طیفی و مکانی از جمله روش‌های پردازش تصویر[3] در رابطه با بهبود و بازسازی تصویر جهت استخراج هر هر چه بهتر اطلاعات مفید از تصاویر می‌باشند. کلیه تبدیل‌ها بر روی DNs پیکسل‌های تصویر صورت می‌گیرند و به‌لحاظ چگونگی انجام آنها به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول تبدیل‌هایی می‌باشند که در آنها DN پیکسل‌ها در رابطه با موقعیت آن و ارزش پیکسل‌های مجاور، دست‌کاری[4] می‌گردند، این دسته از تبدیل‌ها را تبدیل مکانی می‌نامند. دسته دوم تبدیل‌هایی هستند که در آنها DN پیکسل‌ها بدون توجه به موقعیت و مکان آنها در تصویر مورد پردازش قرار می‌گیرند، این چنین تبدیل‌ها را تبدیل‌های طیفی می‌نامند (درویش‌صفت، ۱۳۷۷). پردازش‌های مختلف در رابطه با بهبود کنتراست، نسبت‌گیری‌های[5] مختلف و تجزیه مولفه‌های اصلی[6] از این دسته می‌باشند (درویش‌صفت، ۱۳۷۷).

۱-۴-۶-۱ محاسبات تصویری[7]

در بعضی مواقع استفاده از باندهای اصلی تصاویر برای رسیدن به هدف و استخراج اطلاعات مورد نظر کافی نیست و باید پردازش‌های مختلفی بر روی آنها انجام پذیرد. از مجموعه پردازش‌های ممکن، استفاده از محاسبات تصویری است. محاسبات تصویری به مجموعه عملیات و محاسباتی گفته می‌شود که روی چند باند (بیش از یکی) انجام شده و نتیجه آن یک (شبه) تصویر خواهد بود. قبل از انجام محاسبات تصویری، تمامی باندهای مورد استفاده از لحاظ رادیومتریکی، باید تصحیح شده باشد. با انجام عملیات حسابی، باندهای مصنوعی[8] ایجاد می شود که در اصطلاح شاخص‌های گیاهی گفته می‌شود. عمل نسبت‌گیری از پرکاربردترین عملیات حسابی است که در داده‌های ماهواره‌ای،

---

[1] Ground Control Points

[2] Spectral and Spatial Transformation

[3] Image processing

[4] Modification

[5] Ratioing

[6] Principal Component Analysis

[7]-Image Arithmetic Operation

[8]-Artificial bands