



باسمه تعالی

**جنابان آقایان: علیرضا صفدري نژاد، مجتبی جنتی،
محمدجواد ولدان زوج و مهدی مختارزاده**

بدین وسیله از مقاله شما تحت عنوان:
"مقایسه تئوریک قابلیت سنجنده‌های چندطیفی
مرسوم در میزان حساسیت به دو شاخص گیاهی NDVI
و SR به ازای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی در سطح
زیربیکسل" که برای ارائه به صورت پوستری در همایش
ملی ژئوماتیک ۹۰ انتخاب گردید، تشکر و قدردانی
می‌شود.
از درگاه خداوند سبحان، سلامتی، سعادت و توفیق
روزافزون برایتان آرزومندیم.

هادی واعظی

معاون فنی

و سردبیر همایش ملی ژئوماتیک ۹۰

مقایسه تئوریک قابلیت سنجنده‌های چندطیفی مرسوم در میزان حساسیت به دو شاخص گیاهی NDVI و SR به ازای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی در سطح زیرپیکسل

علیرضا صفدری نژاد^۱، مجتبی جنتی^۲، محمدجواد ولدان زوج^۳، مهدی مختارزاده^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده ی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
safdari_nezhad@sina.kntu.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده ی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
m.jannati@sina.kntu.ac.ir

۳. دانشیار دانشکده‌ی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
valadan@kntu.ac.ir

۴. استادیار دانشکده‌ی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
m_mokhtarzade@yahoo.com

چکیده

اهمیت پوشش‌های گیاهی و میزان سبزی‌نگی در هر پهنه از نقطه‌نظر مطالعات زیست‌محیطی بر کارشناسان این حوزه پوشیده نیست. سنجش از دور با توجه به قابلیت‌های شناخته‌شده‌ی خود نقش ویژه‌ای در این حوزه ایفا می‌کند. با توجه به تنوع شاخص‌هایی که به منظور ارزیابی میزان سبزی‌نگی به واسطه تصاویر ماهواره‌ای تولید می‌شوند، و از سوی دیگر استقبال وسیع در حوزه‌های مختلف علوم طبیعی از شاخص‌های مذکور، تحقیق و تحلیل رفتار شاخص‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله با هدف ارزیابی رفتار دو شاخص گیاهی NDVI و SR از نقطه‌نظر حساسیت‌سنجی نسبت به تراکم‌های متفاوت پوشش گیاهی، دو شاخص مذکور به طور مستقل و نسبی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارتباط دو شاخص خطی نبوده و حد‌آستانه اشباع‌شدگی آن‌ها به طور مستقل متفاوت خواهد بود. صرف‌نظر از این موضوع، شاخص NDVI در تراکم‌های پائین پوشش گیاهی از نقطه‌نظر حساسیت به تلورانس تغییرات تراکمی، انحراف‌معیار بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. نهایتاً در این پژوهش سنجنده‌های چندطیفی مرسوم از نقطه‌نظر حساسیت‌سنجی دسته‌بندی گردید.

کلیدواژه: شاخص گیاهی NDVI و SR، سنجنده چندطیفی، پیکسل‌های مختلط، حساسیت‌سنجی

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت منابع طبیعی، به ویژه میزان سبزی‌نگی موجود در یک پهنه از نقطه‌نظر تاثیرگذاری در سلامتی و تامین منابع اولیه موردنیاز بشر، پایش، تحلیل و مدیریت این منابع تاثیر بسزایی بر مطالعات زیست‌محیطی خواهد داشت [۱]. سنجش از دور به عنوان ابزاری کارآمد در مطالعات مرتبط با منابع طبیعی امروزه جایگاه خود را در بین سایر

روش‌های مطالعاتی تثبیت نموده است. سنجنده‌های چندطیفی^۱ با توجه به قابلیت اندازه‌گیری انرژی الکترومغناطیسی بازتاب‌شده از سطح زمین در طول موج‌های متنوع، توانایی بازسازی رفتار طیفی پدیده‌های مختلف را ممکن می‌سازند [۲]. شاخص‌های متنوعی از میزان بازتابندگی^۲ به دست آمده از انرژی ثبت‌شده توسط سنجنده‌های چندطیفی به منظور مطالعه پدیده‌های مختلفی مثل آب [۳]، خاک، مواد معدنی و سبزیگی [۴] برای بازسازی رفتار، حضور و تراکم موارد مذکور توسعه یافته؛ که هر یک برای هدفی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شاخص‌هایی که در حوزه مطالعات مرتبط با میزان سبزیگی از داده‌های سنجنش از دوری توسعه یافته‌اند، طیف وسیعی از خصوصیات مرتبط با گیاهان مثل سبزیگی، محتوای آب، استرس گیاهی، سطح و تراکم پوشش گیاهی را از داده‌ها سنجنش از دوری استخراج کرده و به عنوان معیارهایی جهت تحلیل در اختیار کارشناسان علوم مرتبط قرار می‌دهند. اساس مدل‌سازی بیشتر شاخص‌های مذکور، رفتار طیفی خاک، آب، گیاه، جو و آلاینده‌های جوی قرار گرفته شده است [۵]. دو شاخص NDVI^۳ و SR^۴ به عنوان دو معیار ساده جهت بررسی حضور و تراکم گیاهان و پوشش گیاهی از استقبال وسیعی در حوزه مطالعات مرتبط برخوردار هستند. در هر دو شاخص ذکر شده مبنای تعیین تراکم گیاهی بازتابندگی در دو باند قرمز و فرورسرخ نزدیک است که علت آن را می‌توان در رفتار طیفی خاص گیاه در این دو باند برشمرد [۶].

از سوی دیگر، به سبب قدرت تفکیک مکانی پائین سنجنده‌های چندطیفی موجود، احتمال حضور پیکسل‌های مختلط^۵ بسیار زیاد خواهد بود. از این روی، در سطح هر پیکسل از تصاویر چندطیفی، انتظار حضور سهم‌های متنوعی از عناصر خالص وجود خواهد داشت. از آنجا که عمده تحلیل‌های کلان مرتبط با پوشش گیاهی در پهنه‌هایی که پدیده غالب آن‌ها خاک و گیاه است صورت می‌پذیرد، عناصر خالص موجود در پیکسل‌های مختلط در آن پهنه‌ها را می‌توان خاک و گیاه فرض نمود. در صورتی این عناصر در سطح زیرپیکسل به لحاظ مکانی قابل تفکیک باشند، می‌توان طرح اختلاط پیکسل‌های مختلط را خطی فرض نمود [۷]. نظر به این که در محاسبه شاخص‌های گیاهی لازم است اثر جو، تصحیح و بر مبنای زاویه و آزیموت خورشید و هم‌چنین بهره^۶ و آفت^۷ آشکارساز^۸‌های موجود در سنجنده، مقادیر درجات خاکستری^۹ هر باند به بازتابندگی تبدیل گردد، در این مقاله با فرض حذف اثر جو، رفتار بازتابندگی دو پدیده خاک و گیاه از کتابخانه‌های طیفی مبنای ارزیابی دو شاخص NDVI و SR قرار گرفته شده است. به این ترتیب که، بازتابندگی این دو پدیده در باندهای قرمز و فرورسرخ نزدیک با درصد‌های مختلفی در گام‌های منظم به صورت خطی ترکیب گردید، و رفتار دو شاخص NDVI و SR به ازای تراکم‌های مختلف در سطح زیرپیکسل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از نقطه نظر اشباع شدگی، سطح حساسیت، دسته‌بندی سنجنده‌های چندطیفی از دیدگاه پاسخ به دو شاخص مذکور و مقایسه نسبی این دو شاخص به طور هم‌زمان، تفسیر گردید.

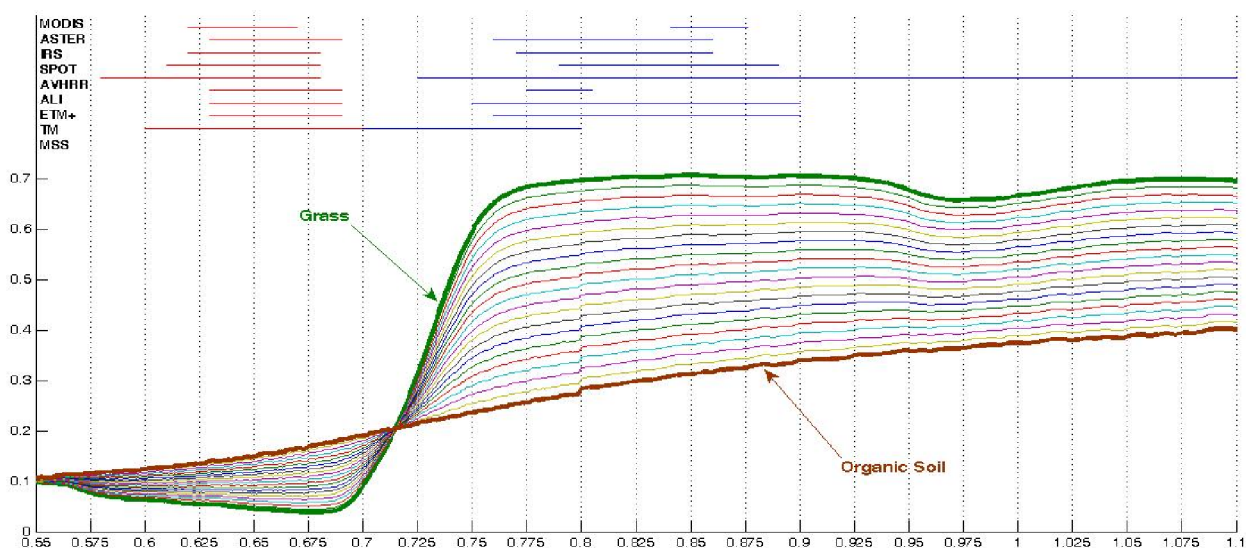
۲- متدولوژی

۱-۲- شبیه‌سازی داده با استفاده از کتابخانه طیفی

به منظور ایجاد طرح اختلاط خطی گیاه و خاک در گام‌های منظم، از دو طیف خاک ارگانیک و چمن سبز به عنوان عناصر خالص در پیکسل‌های مختلط با نرخ تغییرات تراکم ۱ درصد، تصویر شبیه‌سازی شده‌ی فراطیفی با ابعاد ۱۱۱۸×۱۰۰×۱ پیکسل تولید گردید. با حرکت در سطر تصویر مذکور، درصد حضور گیاه با نرخ ۱ درصد کاهش و حضور خاک با همان نرخ افزایش می‌یابد. تصویر تولید شده با عرض طیفی ۰/۰۰۱ میکرون در بازه ۰/۴ تا ۲/۵ میکرون برای هر دو طیف خاک و گیاه از روی طیف‌های کتابخانه‌ای نمونه‌برداری شد. با توجه به این که شاخص‌های NDVI و SR ذاتاً برای استفاده در تصاویر چندطیفی تدوین شده‌اند، طی یک پروسه‌ی نمونه‌برداری مجدد، دو باند قرمز و فرورسرخ نزدیک برای سنجنده‌های چندطیفی مرسوم (جدول ۱) بازسازی گردید. لازم به ذکر است که قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌های چندطیفی یکسان نبوده، و از این روی مفهوم تراکم در این مقاله مستقل از مفهوم مساحت تحت پوشش در سطح زیرپیکسل برای حضور عناصر خالص مد نظر خواهد بود.

جدول ۱: مشخصات سنجنده‌های چندطیفی مرسوم در دو باند قرمز و فرورسرخ نزدیک به همراه قدرت تفکیک مکانی آن‌ها [۸]

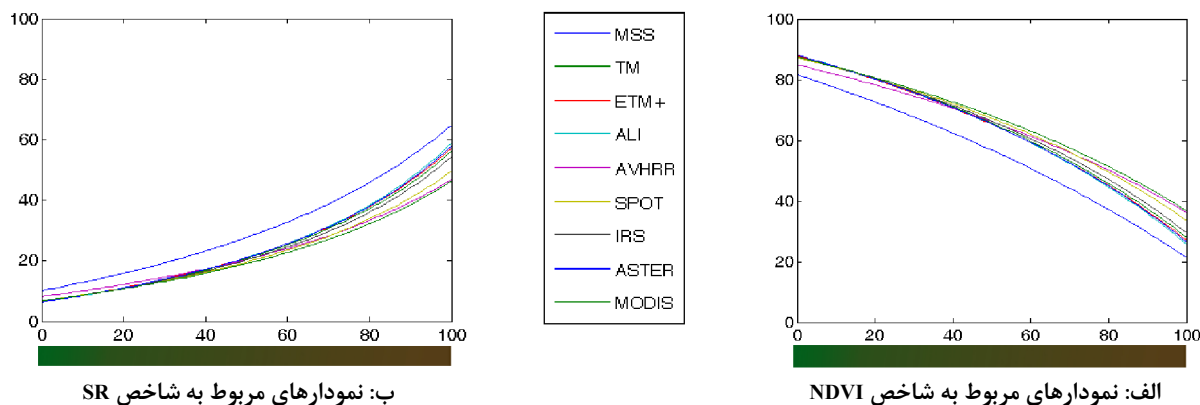
سنجنده	باند قرمز	عرض باند	باند فرورسرخ نزدیک	عرض باند	قدرت تفکیک مکانی	سنجنده	باند قرمز	عرض باند	باند فرورسرخ نزدیک	عرض باند	قدرت تفکیک مکانی		
MSS	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۷۹	SPOT-1,2,3	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۸۹	۲۰		
TM	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۷۶	۳۰	IRS-1A & 1B, LISS1	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۰۶	۰/۷۷	۷۲/۵		
ETM+	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۷۵	۳۰	IRS-1A & 1B, LISS2	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۰۶	۰/۷۷	۳۶/۲۵		
ALI	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۷۷۵	۳۰	IRS-1C & 1D	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۰۶	۰/۷۷	۲۲/۵		
AVHRR	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۱	۰/۷۲۵	۱۱۰۰	ASTER	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۷۶	۱۵		
SPOT-5	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۰۷	۰/۷۹	۱۰	MODIS	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۰۵	۰/۸۴۱	۰/۸۷۶	۰/۰۳۵	۲۵۰



شکل ۱: طرح اختلاط طیفی خاک و گیاه در گستره طیفی دو باند قرمز و فرورسرخ نزدیک برای سنجنده‌های چندطیفی مرسوم

۲-۲- بررسی رفتار دو شاخص NDVI و SR در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی

با توجه به نمونه‌برداری‌های صورت گرفته در بخش (۲-۱)، دو شاخص NDVI و SR برای گام‌های مختلف تراکم پوشش گیاهی محاسبه گردید که نتایج حاکی از تفاوت رفتاری این دو شاخص برای سنجنده‌های چندطیفی مرسوم بوده و این امر به سبب تفاوت بازه طیفی باندهای قرمز و فرورسرخ نزدیک این سنجنده‌ها می‌باشد (شکل ۲).



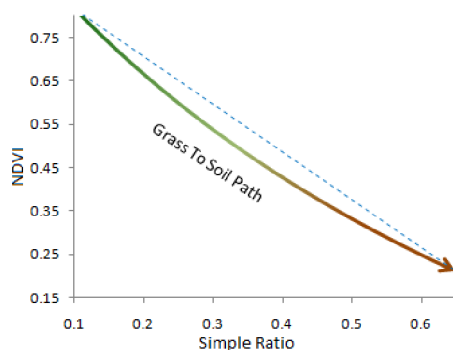
شکل ۲: نمودارهای مربوط به دو شاخص NDVI و SR به ازای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی و خاک به تفکیک نوع سنجنده

مطابق شکل (۲-الف و ب)، رفتار NDVI و SR مربوط به سنجنده‌های مختلف، در تراکم‌های کم گیاهی تمایز آشکاری را نشان داده و در تراکم‌های بالای گیاهی رفتار نمودارها به شدت شبیه یکدیگر می‌شوند. از سوی دیگر، به روشنی می‌توان دریافت که دو شاخص NDVI و SR دارای رابطه معکوس هستند.

همانطور که مشاهده می‌شود، رفتار سنجنده MSS نیز قدری متفاوت بوده که این امر را می‌توان به موقعیت قرارگیری باند فرورسرخ نزدیک در محدوده لبه قرمز^۱ نسبت داد. (شکل ۱)

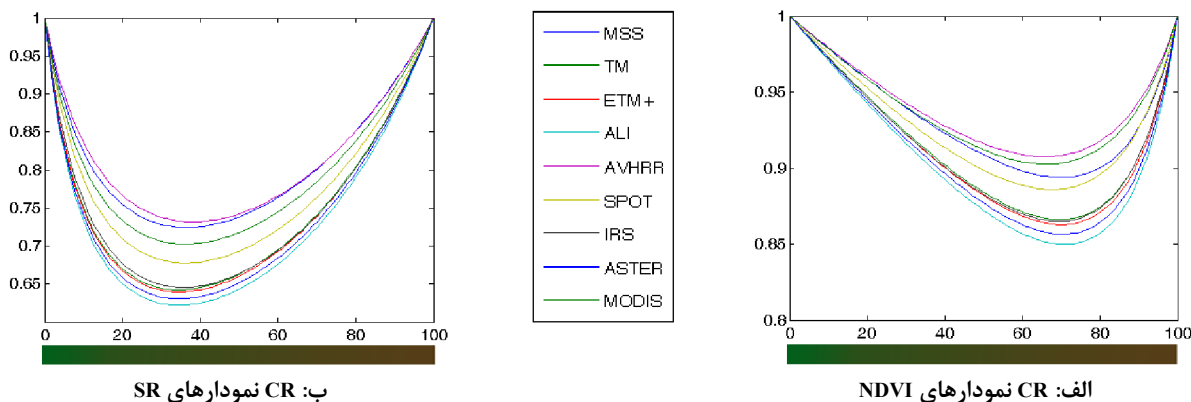
۲-۳- مقایسه رفتار کیفی و کمی دو شاخص NDVI و SR

با ترسیم نمودار SR نسبت به NDVI برای سنجنده‌های مختلف، رفتار یکسانی مطابق شکل (۳) حاصل گردید، که انحنای نمودار به نحوی گویای تمایز اشباع‌شدگی دو شاخص در تراکم‌های متفاوت خواهد بود. جهت پیکان در نمودار شکل (۳) معرف ارتباط عددی معکوس دو شاخص نسبت به یکدیگر بوده و در صورتی که نمودار مذکور بر خط نقطه چین منطبق می‌بود، تفاوتی در استفاده از این دو شاخص در تحلیل‌های مرتبط با تراکم‌سنجی پوشش گیاهی وجود نداشت. اما با توجه به ارتباط غیرخطی نمودار شکل (۳) شیب نمودار ثابت نبوده و از این روی انتظار می‌رود که در تراکم‌های مختلف، حساسیت‌های متفاوتی را از دو شاخص شاهد باشیم [۶]. همین امر لزوم مقایسه سطح حساسیت دو شاخص مذکور به ازای تغییرات تراکمی در سطح زیرپیکسل را آشکار می‌سازد.



شکل ۳: نمایش شاخص NDVI نسبت به شاخص SR به ازای تغییرات تراکم پوشش گیاهی و خاک

با مشاهده نمودارهای شکل (۲)، با توجه به این که رفتار نسبی یکسان برای سنجنده‌های مختلف برای دو شاخص NDVI و SR وجود دارد، ولی نرخ تغییرات شیب برای هر سنجنده متفاوت با سنجنده دیگر خواهد بود. کاهش قدرمطلق شیب در نمودارهای مذکور مبین کاهش حساسیت شاخص‌ها به ازای تغییرات تراکمی، و به همین ترتیب افزایش قدرمطلق شیب نمودارها، تبیین کننده افزایش حساسیت شاخص‌ها به تغییرات تراکمی در سطح زیرپیکسل خواهند بود. از این روی، یافتن تراکم‌هایی که هر شاخص در ارتباط با هر سنجنده به مرز اشباع‌شدگی می‌رسد، می‌تواند معیار مناسبی جهت انتخاب سنجنده و شاخص بهینه برای پهنه‌های جغرافیایی-ای که اطلاعات اولیه از سطح تراکم پوشش گیاهی در آن‌ها وجود دارد، باشد. ایده تجربی-ای که در این حوزه به ذهن می‌رسد، یافتن حدآستانه اشباع‌شدگی در مناطقی از نمودار است که قدرمطلق نرخ تغییرات شیب به نحو محسوسی به سمت صفر کاهش می‌یابد. اجرای ایده مطرح شده به کمک تکنیک حذف پیوستار^{۱۱} (CR) صورت پذیرفت و نمودارهای شکل (۴) حاصل گردید.



شکل ۴: CR نمودارهای NDVI و SR برای سنجنده‌های مختلف چندطیفی

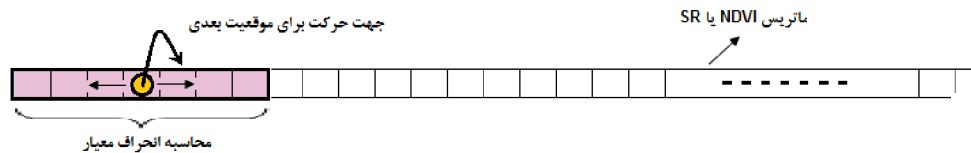
هر نمودار از شکل (۴) متعلق به یک سنجنده بوده و محل وقوع مینیمم مطلق هر یک از نمودارها، جایست که قدرمطلق نرخ تغییرات شیب نمودارهای شکل (۲) با شدت بیشتری به سمت صفر میل می‌کنند و از این روی می‌تواند به نحوی حدآستانه اشباع‌شدگی برای هر سنجنده محسوب شود. مقادیر عددی حدآستانه تراکم گیاهی هر شاخص به تفکیک نوع سنجنده در جدول (۲) لیست شده است.

جدول ۲: حد آستانه تراکم گیاهی هر شاخص به تفکیک نوع سنجنده

سنجنده	MSS	TM	ETM+	ALI	AVHRR	SPOT	IRS	ASTER	MODIS
NDVI	۳۴	۳۰	۳۱	۳۳	۳۵	۳۰	۳۱	۳۱	۳۱
بیشینه درصد حضور گیاه SR	۶۵	۶۷	۶۶	۶۵	۶۳	۶۷	۶۷	۶۷	۶۵

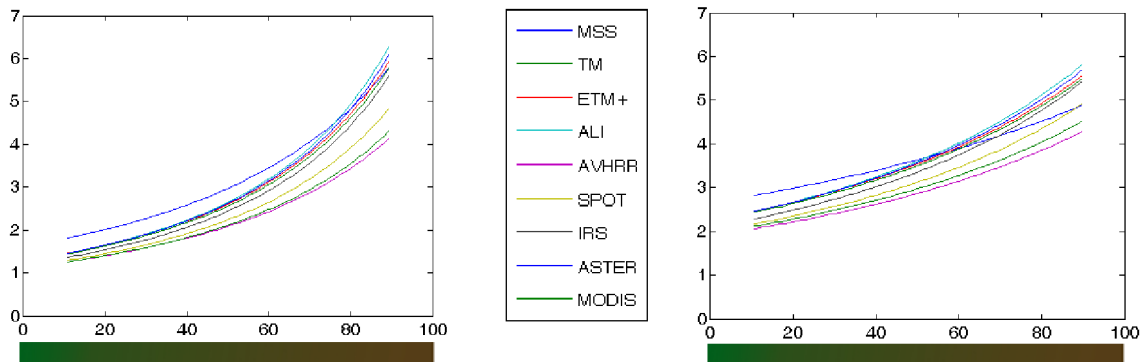
۲-۴- حساسیت سنجی دو شاخص NDVI و SR

به منظور تحلیل و بررسی حساسیت شاخص‌های مذکور، با تلورانس‌های ثابت تراکم در میانگین‌های تراکم با گام‌های منظم تغییر، مقدار انحراف معیار تغییرات دو شاخص محاسبه گردید؛ با این انتظار که نمودارهای حاصل، گویای دامنه تغییرات شاخص‌های مذکور به ازای مرکزیت متفاوت میانگین و تلورانس ثابت تراکم‌های مختلف گیاه و خاک در سطح زیرپیکسل باشند. به عنوان مثال، فرآیند محاسبه حساسیت بر مبنای انحراف معیار برای تلورانس تراکمی معادل ± 3 درصد بر روی ماتریس NDVI و یا SR در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل ۵: فرآیند محاسبه حساسیت بر مبنای انحراف معیار برای تلورانس تراکمی معادل ± 3 درصد بر روی ماتریس NDVI و یا SR

رفتار نمودارهای حاصل در فرآیند مذکور، دارای شباهت‌های بسیار بالایی به ازای تغییرات دامنه تلورانس تغییر بوده به نحوی که می‌توان شکل نمودارهای حاصله را به لحاظ تفکیک از نقطه نظر نوع سنجنده یکسان در نظر گرفت. شکل (۶) حساسیت رفتار دو شاخص NDVI و SR به ازای تلورانس تغییر تراکم با دامنه تغییری معادل ± 10 درصد را نمایش می‌دهد.



الف: حساسیت SR به ازای تلورانس $\pm 10\%$

الف: حساسیت NDVI به ازای تلورانس $\pm 10\%$

شکل ۶: حساسیت دو شاخص NDVI و SR به ازای تلورانس تراکم ± 10 درصد و گام‌های ثابت تغییر میانگین

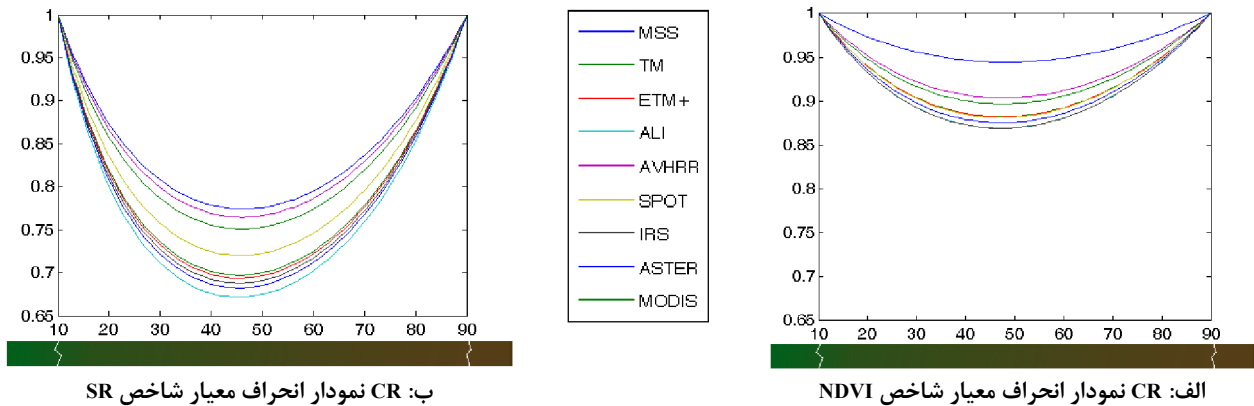
با نگاه اولیه به نمودارهای موجود در شکل (۶) به آشکاری می‌توان حساسیت بالاتر شاخص NDVI را نسبت به شاخص SR در تراکم‌های بالای گیاهی مشاهده نمود. علیرغم اینکه شاخص NDVI به طور مستقل در تراکم‌هایی با

میانگین ۳۲ درصد برای سنجنده‌های مختلف و شاخص SR به طور مستقل در تراکم‌هایی با میانگین ۶۶ درصد به حدی می‌رسند که نرخ قدرمطلق تغییرات شیب آنها مطابق با نمودار شکل (۴) به نحو محسوسی به سمت صفر میل می‌کند، ولی در قیاس این دو شاخص نسبت به هم، می‌توان ادعا نمود که حتی با این وجود هم حساسیت شاخص NDVI بر مبنای انحراف معیار محاسبه شده در تراکم‌های بالا از شاخص SR بیشتر است. جدول (۳) با محاسبه مقادیر عددی مثل میانگین و انحراف معیار (برای تمام سنجنده‌ها) برای دو کران نمودارهای شکل (۶-الف و ب) مؤید همین امر خواهد بود.

جدول ۳: مقادیر عددی میانگین و انحراف معیار برای دو کران نمودارهای شکل (۶)

	کران پائین		کران بالا	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
NDVI	۲/۳۴۷۵	۰/۲۳۳۱	۵/۱۸۷۷	۰/۵۴۶۹
SR	۱/۴۰۵۰	۰/۱۶۸۱	۵/۵۱۰۲	۰/۸۰۹۰

نمودارهای موجود در شکل (۶) بازگوکننده این مطلب است که با در نظر گرفتن میانگین تراکم پوشش گیاهی کم، دو شاخص مورد بحث، انحراف معیار بیشتری را به ازای تلورانس ثابت تغییرات تراکمی تامین کرده و با نیل به سوی افزایش تراکم پوشش گیاهی در سطح زیرپیکسل، با کاهش انحراف معیار، از نقطه نظر مورد بررسی مواجه خواهیم بود. علیرغم رفتار یکسان نمودارهای هر سنجنده از دیدگاه جهت تقعر و نرخ نسبی تغییرات شیب، تفاوت‌های اندک برای هر سنجنده نمودارها را از هم تفکیک نموده است. به نظر می‌رسد این امر ناشی از محل و دامنه متفاوت طیفی هر سنجنده در دو باندطیفی قرمز و فروسرخ نزدیک بوده که موجب تمایز حساسیت سنجنده‌ها در تراکم‌های مختلف گردیده است. به همین جهت، در این بخش با مد نظر قرار دادن سطح حساسیت در بارزسازی تغییرات تراکمی، هدف دسته‌بندی سنجنده‌ها، به عنوان افق دید در نظر گرفته شد. به این معنی که نمودارهای مرتبط با سنجنده‌هایی که نرخ تغییرات شیب بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند، حساسیت بیشتر و نهایتاً تغییرات انحراف معیار بیشتری به ازای تغییرات مرکز تراکم و تلورانس ثابت دارند. از این روی به نظر می‌رسد بتوان با دسته‌بندی کردن سنجنده‌ها بر مبنای عمقی که در نمودار CR آنها (شکل ۷) تولید می‌شود، سنجنده‌ی مناسب برای شرایط اقلیمی متفاوت را شناسایی نمود. ناگفته نماند، تمایز قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌ها نیز می‌بایست، در فرآیند انتخاب سنجنده‌ی مناسب به عنوان پارامتری مجزا دیده شود.



شکل ۷: CR نمودار انحراف معیار دو شاخص NDVI و SR به ازای تلورانس تراکم $\pm 10\%$ درصد

عمق نمودارهای مرتبط با هر سنجنده در شکل (۷-الف و ب)، شدت تغییرات شیب نمودار را نمایان می‌سازد. همان‌طور که در شکل (۶-الف و ب) مشاهده شد، نمودارهای مرتبط با شاخص NDVI دارای نرخ تغییرات شیب کمتری نسبت به نمودارهای شاخص SR داشته که عمق کمتر نمودارهای شاخص NDVI (شکل ۷-الف) نسبت به نمودارهای شاخص SR (شکل ۷-ب) در شکل (۷) نیز به نحوی مؤید این مطلب است.

با توجه به مطالب ذکر شده، ترتیب سنجنده‌های چندطیفی بر مبنای میزان حساسیت به دو شاخص NDVI و SR به طور مستقل در جدول (۴) نمایش داده شده است.

جدول ۴: ترتیب سنجنده‌های چندطیفی بر مبنای میزان حساسیت به دو شاخص NDVI و SR به طور مستقل

	افزایش حساسیت					کاهش حساسیت				
	NDVI	IRS	ALI	ASTER	SPOT	ETM+	TM	MODIS	AVHRR	MSS
SR	ALI	ASTER	IRS	ETM+	TM	SPOT	MODIS	AVHRR	MSS	

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث مطرح شده از نقطه نظر بررسی هر شاخص به صورت مستقل، رفتار هر شاخص به ازای هر سنجنده با تفاوت‌هایی نسبت به یکدیگر بوده که ناشی از پارامترهای مرتبط با قدرت تفکیک طیفی هر سنجنده می‌باشد. با توجه به اینکه مفهوم تراکم مستقل از مساحت تحت پوشش عناصر خالص در سطح زیرپیکسل مطرح گردید، لزوم مدنظر قرار دادن این شرایط در تحلیل‌های مرتبط با تراکم پوشش گیاهی، امری ضروری به نظر می‌رسد.

با بحث به طور مستقل بر روی رفتار هر شاخص، حدآستانه‌ای برای هر سنجنده برای تراکم‌های خاص پوشش گیاهی محاسبه گردید و با فرض اینکه، هنگامی که محل تغییرات قدرمطلق شیب نمودارهای دو شاخص با شدت بیشتری به مقدار صفر نیل می‌کند، سطح اشباع‌شدگی هر شاخص به ازای هر سنجنده محسوب شود، تمایز آشکاری در رفتار دو شاخص NDVI و SR مشاهده گردید. به عبارت دیگر، هنگام بحث به طور مستقل بر روی یک شاخص (NDVI یا SR)، سطح اشباع‌شدگی شاخص به ازای تراکم‌های متفاوتی از پوشش‌های گیاهی در سطح زیرپیکسل واقع می‌شود.

از سوی دیگر، ارتباط غیرخطی دو شاخص SR و NDVI نسبت به یکدیگر نیز به نحوی تفاوت محل وقوع اشباع‌شدگی را در مقادیر متفاوت تائید می‌کند. هنگام ترسیم نمودار دو شاخص SR و NDVI نسبت به یکدیگر، با تغییر گام‌های منظم تراکم گیاه و خاک (یک درصد)، علاوه بر تبعیت تمامی سنجنده‌ها از یک رفتار ثابت مطابق شکل (۳) نزدیکی نقاط در این فضای کارتزین دوبعدی از تراکم ۱۰۰ درصد گیاه تا تراکم ۱۰۰ درصد خاک با یک رابطه غیرخطی و نمایی تغییر و افزایش پیدا می‌کند؛ که این امر نیز به نحوی مؤید حساسیت بالای دو شاخص مذکور به ازای تراکم‌های کم پوشش گیاهی محسوب می‌شود.

با توجه به اینکه مبنای تعیین حساسیت دو شاخص گیاهی براساس انحراف معیار تغییرات به ازای گام‌های مختلف مرکزیت تعیین انحراف معیار مدنظر قرار گرفت، و از سوی دیگر رفتار نموداری این فرآیند بواسطه تغییر دامنه‌ی تلورانس مربوط به انحراف معیار دچار تغییر نگردید، از این روی سنجنده‌های چندطیفی براساس میزان حساسیت برای هر شاخص به صورت جداگانه دسته‌بندی گردید. نتایج نشان داد که سنجنده‌هایی که نرخ تغییرات شیب بزرگتری را در این پروسه به خود اختصاص می‌دهند، بر مبنای معیار حساسیت در اولویت بالاتری قرار می‌گیرند.

نکته‌ی جالب اینکه، با توجه به ارزیابی مستقل هر شاخص (SR و NDVI) از نقطه نظر اشباع‌شدگی به ازای افزایش تراکم پوشش گیاهی، شاخص NDVI در تراکم‌های بالای پوشش گیاهی در سطح زیرپیکسل با وجود اینکه در مرز اشباع‌شدگی خود قرار می‌گیرد، کماکان انحراف معیار بزرگتری به ازای تلورانس تغییر از خود نشان می‌دهند.

۴- پیشنهادات

با توجه به تغییرات زمانی آشکارسازهای مربوط به سنجنده‌ها از نقطه نظر پاسخ‌دهی به دامنه طیفی، ممکن است ترتیب سنجنده‌ها بواسطه این امر و لحاظ نمودن تابع پاسخ واقعی سنجنده دچار تغییر گردد. از این روی، ارزیابی دقیق‌تر در این حوزه می‌تواند در بازه‌های زمانی مختلف بواسطه تابع پاسخ این سنجنده‌ها در هر زمان به صورت مستقل صورت پذیرد.

از آنجایی که تمامی اثرات مربوط به جو طی پروسه تصحیح جوی به طور کامل حذف نمی‌گردد، انتظار می‌رود که شباهت‌های رفتاری شاخص‌های مذکور و تحلیل‌های مرتبط با تغییرات اندکی مطابق با نتایج حاصله باشد؛ که این امر ضرورت بررسی و مطالعات آتی در این حوزه را روشن می‌سازد.

از آنجایی که طیف‌های کتابخانه‌ای عمدتاً در شرایط آزمایشگاهی و به نحوی تهیه می‌شوند که سطح مورد بررسی از نقطه نظر بازتابندگی لامبرتی فرض شود، اثر زاویه‌ی دید، توپوگرافی زمین، ساختار غیرلامبرتی پوشش‌های مختلف زمین و موقعیت قرارگیری منبع انرژی الکترومغناطیسی می‌تواند در میزان انرژی ثبت‌شده در میدان دید لحظه‌ای سنجنده

تاثیرگذار بوده، از این روی لزوم تحقیقی جامع بر روی داده‌های واقعی با استفاده از تست فیلدهای زمینی جهت ارزیابی انطباق عملی با نتایج تئوریک حاصله آشکار می‌گردد.

۵- پانویس

1. Multi-Spectral Sensors
2. Reflectance
3. Normalized Difference Vegetation Index
4. Simple Ratio
5. Mixed pixels
6. Gain
7. Offset
8. Detector (CCD ,CMOS , ...)
9. Digital Number (DN)
10. Red Edge
11. Continuum Removed

مراجع

1. Jackson, M. W. and J. R. Jensen, 2005, *An Evaluation of Remote Sensing-derived Landscape Ecology Metrics for Reservoir Shoreline Environmental Monitoring*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 71(12):1387-1397.
2. USGS Global Landcover, 2006, *Global Landcover Characterization*, [http:// edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/](http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/).
3. Schultz, G. A., 1988, *Remote sensing in Hydrology*, Journal of Hydrology, 100:239-265.
4. Rencz, A., (Ed.), 1999, *Manual of Remote Sensing-Geoscience*, NY: John Wiley.
5. Perry, C. R. and L. F. Lautenschlager, 1984, *Functional Equalvalence of Spectral Vegetation Indices*, 14:169-182.
6. Huete, A. R., Didan, K., Miura, and Y. Yin, 2002, *MODIS Vegetation Workshope*, Missoula, Montana, July 15-18; Terrestrial Biophysics and Remote Sensing (TBRS) MODIS Team, University of Arizona, <http://utam.geophys.utah.edu/ebooks/gg527/modis/ndvi.html>.
7. Keshava, N. and Mustard, F., 2002, *Spectral Unmixing*, IEEE Signal Processing Magazine, 44-57.
8. Jensen, J. R., 2007, *Remote Sensing of the Environment-An Earth Resource Perspective*, NY: Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Second Edition, 193-249.