



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.5, No.4, Winter 2014

۳۷-۵۰

بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ای در پهنه‌بندی گونه‌های مهاجم (مطالعه موردی: مراتع وازرود)

کریم سلیمانی^۱، محدثه امیری^۲، رضا تمرناش^۳، میرحسین میریعقوبزاده^{۴*}

۱. استاد مرکز RS و GIS گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. کارشناس ارشد مرتع‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه مازندران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۵/۲۲

چکیده

گونه‌های مهاجم با ایجاد تغییرات اکولوژیکی‌ای که گاه برگشت‌ناپذیرند، موفقیت عملیات احیا را در حوزه‌های آبخیز تهدید می‌کنند. بنابراین ممانعت از هجوم، تشخیص اولیه و حذف این گیاهان، راهی است برای در اختیار گرفتن و مدیریت آنها. تکنیک‌های سنجش از دور در پایش گونه‌های مهاجم به‌منظور جلوگیری از هجوم، نابودی یا کنترل گونه‌های استقرار یافته، بسیار مؤثرند. در پژوهش حاضر، کارایی تصاویر TM و IRS در پهنه‌بندی گونه‌های مهاجم کنگر صحرایی و سنبله نقره‌ای در مراتع وازرود بررسی شده است. برای دریافت نتیجه بهتر از این تصاویر، تصحیح اتمسفری آنها با مدل $\cos(t)$ انجام گرفت و سپس تعدادی از شاخص‌های گیاهی با استخراج میانگین رقومی پیکسل‌های مربوط به نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر تصحیح‌شده اعمال گردید. طبقه‌بندی با الگوریتم «حداقل فاصله از میانگین» انجام گرفت و با نقشه واقعیت زمینی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های NDVI، Ratio، RVI و TVI حاصل از تصویر TM و شاخص AVI تصویر IRS برای گونه کنگر صحرایی و شاخص‌های NDVI، PVI 1، PVI 2، PVI و WDVI تصویر TM و شاخص NDVI تصویر IRS برای سنبله نقره‌ای بهترین عملکرد را از بین شاخص‌های بررسی‌شده دارند. همچنین از کلیه شاخص‌های آنالیزشده، شاخص‌های DNI و WDVI هر دو تصور - با درجات متفاوتی از تفکیک - قادر به تفکیک این دو گونه از یکدیگرند و به‌عنوان معیار تفکیک می‌توانند در مطالعات بعدی نتایج خوبی به‌دست دهند.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، سنبله نقره‌ای، کنگر صحرایی، IRS، TM.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: آذربایجان شرقی، مرند، صندوق پستی: ۱۳۹-۵۴۱۶۵، تلفن: ۰۹۲۳۵۶۱۲۲۱۹

۱- مقدمه

هجوم زیستی مؤلفه‌ای معنی‌دار در تغییر جهانی و از دلایل عمده انقراض گونه‌ای است، که هیدرولوژی، تجمع و چرخه مواد غذایی و ترکیب کربن را در عرصه‌های طبیعی تغییر می‌دهد و با ایجاد تغییرات اکولوژیکی مانع احیای موفقیت‌آمیز اکوسیستم‌ها می‌شود (Drake et al., 1989). گونه‌های مهاجم در کانون توجه اکولوژیست‌ها و مدیران منابع طبیعی قرار دارند و به دلیل گسترش سریع‌شان به تنوع زیستی و اکوسیستم‌ها صدمه وارد می‌کنند (Jooshi, 2006). تاکنون، مطالعات بسیاری در مورد گیاهان مهاجم و مشکلات مربوط به آنها انجام شده، اما تعداد اندکی از آنها به کاربردهای مفید نقشه‌برداری، پایش و مدیریت زیر اشکوب‌های مهاجم با استفاده از سنجش از دور پرداخته‌اند (Kandwal et al., 2009). از آنجاکه الگوی پراکنش مکانی گونه‌های مهاجم در طراحی طرح‌های مدیریتی و اقدامات حفاظتی و احیایی بسیار مفید و ضروری است، غالباً پایش سیستماتیک گسترش این گونه‌ها در نواحی وسیع اهمیت دارد. به دلیل مشکلات گوناگون انجام مطالعات صحرایی نظیر صرف هزینه و زمان زیاد، سختی و دقت پایین و عدم دسترسی به برخی مناطق دورافتاده و صعب‌العبور، در بیشتر اوقات امکان اندازه‌گیری میدانی و پایش گیاهان مهاجم بدون بهره‌گیری از فناوری‌های جدید وجود ندارد، و استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، همراه با اندازه‌گیری‌های میدانی برای این گونه مطالعات بسیار سودمند است. (Hardisky et al., 1984). سنجش از دور از ابزارهای مهم مطالعات اکولوژیکی بزرگ‌مقیاس در سه دهه اخیر است که تا اواسط سال ۱۹۹۰ برای مطالعه گیاهان مهاجم و غیربومی از آن استفاده نشده بود (Huang & Asner, 2009). در تفکیک گیاهان مهاجم از جامعه گیاهی با تکنیک سنجش از دور معمولاً از ویژگی‌های طیفی، ساختاری و فنولوژیک آنها استفاده می‌شود (Andrwood et al., 2003). در مورد گونه‌های

مطالعه‌شده نیز متوسط بازتاب طیفی کنگر صحرایی در محدوده ۷۰۰-۱۴۰۰ نانومتر (وریندیس و بردمیگر، ۱۹۹۹) و متوسط بازتاب سنبله نقره‌ای در محدوده طول موج آبی اتفاق می‌افتد (Raine & Chittka, 2007). داده‌های دورسنجی امکان مدیریت و برآورد تغییرات مراتع و تفکیک تیپ‌ها را در قالب نقشه‌های گیاهی فراهم می‌آورند و در صورت جداسازی دقیق انواع پوشش، امکان بررسی کمی و کیفی تغییرات آن در دوره‌های مختلف زمانی نیز فراهم می‌گردد (Latifi et al., 2006).

تصاویر ETM+ مربوط به چند فصل به منظور جداسازی گیاه مهاجم *Bromus tectorum* L. در ایالت نوادای امریکا نشان داد که بین پوشش زمينه نمونه‌برداری شده و پوشش تخمینی این گیاه همبستگی خوبی وجود دارد (پترسون، ۲۰۰۵).

تشخیص خطر هجوم این گونه با استفاده از داده‌های ماهواره‌های MSS، TM و ETM+ نقشه خطری را برای پیش‌بینی هجوم بعدی آن تهیه کرد، که به مدیریت اراضی در آینده کمک می‌کند. در این پیش‌بینی و تعیین وسعت هجوم، از متغیرهایی نظیر ارتفاع، جهت، نواحی کشت‌شده، شبکه‌های هیدروگرافی، جاده‌ها و خطوط نیرو استفاده شد (Bradley & Mustard, 2006).

استفاده از آنالیز سری‌های زمانی، آنالیز سین‌های منفرد، شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI و مدل حداکثر آنتروپی در تشخیص گیاه مهاجم گز نشان داد که آنالیز سری‌های زمانی در مقایسه با آنالیز سین‌های منفرد مدل بهتری ارائه می‌کند (Avenglista et al., 2009). استفاده از روش سلسله‌مراتبی در سه سطح تجزیه واریانس، طبقه‌بندی و رگرسیون درختی، و فاصله Jeffries-Matusita در تشخیص طیفی گیاه مهاجم پاپیروس (*Cyperus papyrus* L.) نیز نشان داد که بهترین تشخیص پاپیروس از گونه‌های همزیستش با ۶ باند واقع در مرز قرمز و محدوده مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس امکان‌پذیر است (Adam & Mutanga, 2009). مطالعه‌ای

ترکیب این دو گونه مهاجم با کلاس‌های مختلف در اکوسیستم مرتعی واز.

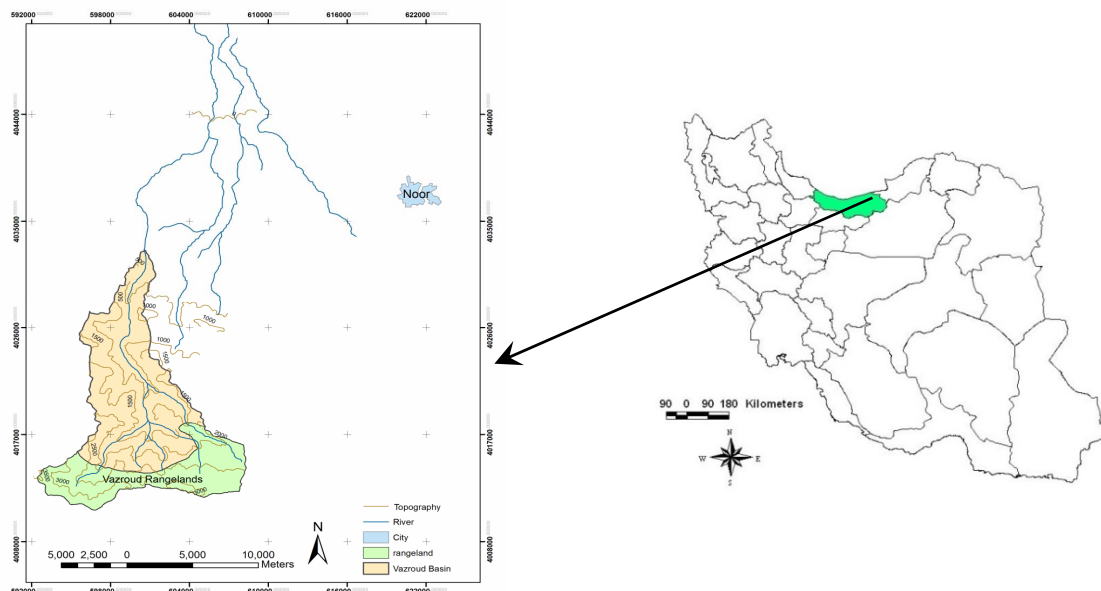
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه تحقیق با وسعتی معادل ۴۷/۰۱ هکتار و مختصات جغرافیایی 36°13'14" تا 36°18'49" عرض شمالی و 52°43'1" تا 52°12'23" طول شرقی در قسمت بالادست حوضه آبخیز وازرود در شهرستان نور استان مازندران قرار دارد و ۳۳/۲۸ درصد از سطح حوضه را می‌پوشاند (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۳۵۸۰ و ۱۷۵۰ متر از سطح دریاست. متوسط بارندگی سالانه منطقه حدود ۳۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد و اقلیم آن به روش دومارتن مدیترانه‌ای سرد و فراسرد است. به دلیل تغییرات ارتفاعی، اداپیکسی و ژئومورفولوژیکی، فرم‌های رویشی متنوعی در منطقه مشاهده می‌شود، که عمدتاً به خانواده‌های Asteraceae، Poaceae و Lamiaceae تعلق دارند.

در یکی از جنگل‌های هیمالیا نشان داد که ۱۴ شاخص گیاهی با درجه‌های متفاوت تفکیک، قادر به تشخیص *Lantana camara* L. از سایر کلاس‌های پوشش گیاهی بودند، از بین آنها کارایی PVI و سپس SAVI بهتر از سایر شاخص‌ها بود (Kandwal et al., 2009). مطالعات مذکور، تکامل سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای را در تشخیص گیاهان مهاجم از سایر گونه‌های گیاهی نشان می‌دهند.

گونه‌های مهاجم کنگر صحرائی (*Cirsium arvense* L.) و سنبله نقره‌ای (*Stachys byzanthina* C.Koch.) در بالادست حوضه وازرود طی سال‌های اخیر با مهاجم گسترده در عرصه‌های مرتعی، تغییراتی را در تنوع زیستی ایجاد کرده‌اند. فقدان مطالعات مرتعی در منطقه، مدیران و برنامه‌ریزان را برای کنترل این گونه‌ها با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. در چنین شرایطی باید به گونه‌ای عمل شود که بتوان ضمن کاهش هزینه‌های صحرائی، نتایج مناسبی را برای شناخت عرصه‌های در معرض خطر ارائه کرد. تحقیق حاضر کوششی است برای ارزیابی کارایی تصاویر TM و IRS همراه با سامانه اطلاعات جغرافیایی در تشخیص کنگر صحرائی و سنبله نقره‌ای، و حل مشکل



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در کشور و حوضه آبخیز وازرود

۲-۲- به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای و انجام تصحیحات

داده‌های رقومی استفاده شده در تحقیق شامل تصویر لندست به تاریخ ششم می ۲۰۱۰ و تصویر IRS-LISSS III به تاریخ ۱۲ نوامبر ۲۰۰۷ میلادی است. از آنجاکه تعداد باندها در سنجنده TM زیاد و امکان ترکیب باندها برای تهیه شاخص‌های گیاهی در آن بیشتر است از این سنجنده استفاده شد. تصویر IRS نیز علاوه بر اینکه امکان تهیه آن در کشور وجود دارد، قدرت تفکیک مکانی نسبتاً بالایی دارد و باندهای آن برای مطالعه پوشش گیاهی دارای دامنه طیفی مناسبی است (National Remote Sensing Agency, 2006). از آنجاکه داده‌های خام دریافت شده از سنجنده‌ها معمولاً دارای خطا هستند، در مرحله پیش پردازش، داده‌های استفاده شده از لحاظ خطاهای رادیومتری نظیر راه‌راه‌شدگی و ناهنجاری‌های جوی نظیر ابر بازبینی شدند و موردی در منطقه مشاهده نشد. بررسی هیستوگرام تک‌تک باندها و پارامترهای آماری میانگین و انحراف معیار، توزیع نرمال را در داده‌ها نشان داد. تصحیح هندسی تصاویر با روش تطابق تصویر با تصویر و درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه صورت پذیرفت. به منظور رفع خطای راه‌راه‌شدگی از تصویر IRS از فیلتر میانۀ ۵*۵ استفاده شد.

در تصحیح اتمسفری به روش چاوز (۱۹۸۸) یا $\cos(t)$ مقادیر ارزش‌های طیفی هر باند با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده و رابطه (۱) به تابش تبدیل گردید.

رابطه (۱) $L = Gain \times DN + Offset$ که در آن L : تابش طیفی باندها DN : ارزش رقومی پیکسل (0 تا 255)، $Gain$ و $Offset$ نیز ضرایب کالیبراسیون سنجنده هستند. سپس مطابق رابطه (۲) مقدار تابش طیفی به بازتاب تبدیل شد.

$$\rho\lambda = \frac{\pi \cdot I_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_r} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$\rho\lambda$: بازتاب پذیری هر باند بین 0 و 1 ، $ESUN_{\lambda}$: میانگین تابش فرودی خورشید برای باند $(\text{wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$ ، θ : زاویه تابش خورشید هنگام ضبط تصویر، و d_r : معکوس مربع نسبت فاصله زمین - خورشید.

۲-۳- روش برداشت میدانی

در مطالعات پوشش گیاهی، طرح‌های غیرطبیعی تر نمونه برداری مثل تصادفی - سیستماتیک یا تصادفی - طبقه‌بندی شده که تأثیر خودهمبستگی مکانی را بیشتر کاهش می‌دهند، می‌توانند مؤثرتر باشند (Oldeland et al., 2010). به همین منظور، برای تعیین نمونه‌های تعلیمی در اوایل خردادماه (مصادف با اوج رشد گیاهی در منطقه و پیش از ورود دام به آن)، ۳۰ نمونه به روش تصادفی - طبقه‌بندی شده تهیه گردید. برای این منظور، با استفاده از GPS و ثبت مختصات جغرافیایی نقطه مرکزی یک طبقه کنگر صحرایی یا سنبله نقره‌ای و نیز مختصات گوشه‌های آنها به صورت دایره، ابتدا نقشه نقطه‌ای در محیط GIS ساخته شد و سپس از اتصال نقاط چندضلعی‌ها، نقشه واقعیت زمینی تهیه گردید. درصد تاج پوشش این گونه‌ها در نمونه‌های تعلیمی به طور بصری حدود ۶۰-۵۰ درصد بوده است.

۲-۴- انتخاب و طبقه‌بندی شاخص‌های گیاهی

به منظور آشکارسازی بهتر پوشش گیاهی برای پهنه‌بندی و به حداقل رساندن اثر متغیرهای مؤثر بر بازتاب - مانند هندسه تاج پوشش، خاک پس‌زمینه و شرایط اتمسفری - از ۱۷ شاخص گیاهی که پژوهشگران معمولاً آنها را به کار می‌گیرند، استفاده شد. برای محاسبه این شاخص‌ها، میانگین رقومی پیکسل‌های مربوط به واحدهای نمونه برداری از ۶ باند TM (به استثنای باند حرارتی) و باندهای IRS از تصاویر تصحیح شده استخراج گردیدند. برای جلوگیری از تداخل بازتاب طیفی خاک زمینه با بازتاب طیفی پوشش گیاهی، افزون بر شاخص NDVI، شاخص‌های

نقره‌ای را به خود اختصاص داده است، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی‌نشده با پیکسل‌های میانگین محاسبه می‌شود و پیکسل موردنظر به کلاسی تعلق می‌گیرد که نزدیک‌ترین فاصله را با میانگین آن دارد. در این الگوریتم، اطلاعات لازم برای شناسایی کلاس‌ها در فضای چندطیفی از پیکسل‌های معلوم استخراج می‌گردد (Zobeiry & Majd, 2005).

۲-۵- ارزیابی صحت و دقت شاخص‌ها

پس از طبقه‌بندی، نتایج حاصل با مقایسه پیکسل‌به‌پیکسل نقشه واقعیته زمینی و تصاویر طبقه‌بندی‌شده، ارزیابی صحت شدند و با توجه به ماتریس خطای به‌دست آمده از رابطه (۳)، ضریب کاپا^۱ (k) به‌عنوان معیاری از صحت طبقه‌بندی برای شاخص‌ها به‌دست آمد. این ضریب، اشتباه حاصل از فرایند طبقه‌بندی را در مقایسه با اشتباه ناشی از طبقه‌بندی کاملاً تصادفی کاهش می‌دهد (Miyazaki et al., 2011). مقدار ضریب کاپا بین صفر تا یک است، که اگر $k < 0.4$ ، ضریب کاپا $0.4 < k < 0.75$ و $k > 0.75$ باشد، طبقه‌بندی به‌ترتیب ضعیف، نسبتاً خوب و خیلی خوب خواهد بود. بهترین طبقه‌بندی زمانی اتفاق می‌افتد که دقت کلی و ضریب کاپا هر دو بالا (> 0.6) باشند (Foody, 1992). رابطه (۳)

$$k = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}}{N^2 - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}}$$

که در آن؛ X_{kk} : قطرهای ماتریس خطا، $X_{\Sigma k}$: تعداد پیکسل‌های واقعیت زمینی، $X_{\Sigma k}$: جمع پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده و N: تعداد کلاس‌های واقعیت زمینی است.

۳- نتایج

پس از تصحیح اتمسفری، تصاویر با انتخاب ۱۷ نقطه کنترل زمینی که پراکنش مناسبی در سطح منطقه

WDVI، SAVI و TSAVI که آثار بازتاب‌های طیفی خاک را بر بازتاب گیاه کم می‌کنند (Alavipanah, 2009) نیز محاسبه شدند و تمامی شاخص‌های به‌دست‌آمده به‌مجموعه داده‌های مورد استفاده اضافه شدند. برای محاسبه این شاخص‌ها از عوامل خط خاک، یعنی رابطه بین بازتاب مشاهده‌شده خط خاک در دو طول موج مختلف استفاده شد. با استفاده از این خط می‌توان انعکاس صحیح تاج‌پوشش گیاهان را از تأثیر بازتاب طیفی خاک‌ها نشان داد. با استفاده از شاخص SAVI می‌توان تأثیر خصوصیات طیفی خاک پس‌زمینه را روی بازتاب طیفی تاج‌پوشش گیاه از طریق ترکیب‌کردن فاکتور تعدیل‌کننده خاک (L) با مخرج معادله NDVI به حداقل رساند. این فاکتور تابعی از تراکم پوشش گیاهی است که برای تعیین آن می‌بایست از میزان پوشش گیاهی منطقه اطلاع داشت (Huete, 1988). شاخص NDVI بر پایه این اصل که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ، نور مادون قرمز نزدیک را منعکس می‌سازد، تعیین می‌شود و مقدار آن از -۱ تا +۱ تغییر می‌کند. در مناطقی که تراکم پوشش گیاهی بیشتر است این مقدار به +۱ نزدیک‌تر می‌شود و مقادیر منفی آن نشان از فقدان پوشش گیاهی دارد (Bannari et al., 1995; Groten et al., 1999). روز و همکاران (۱۹۷۴) برای اصلاح NDVI، شاخص گیاهان تبدیل‌شده را پیشنهاد کردند. با جذرگرفتن از مقدار NDVI تقریباً توزیع پواسون به‌دست می‌آید و به‌سمت نرمال شدن پیش می‌رود. آنها کسر شاخص گیاهی را نیز برای تفکیک پوشش گیاهی از خاک پس‌زمینه با استفاده از تصاویر سنجنده MSS پیشنهاد کردند. این شاخص، شیب خطی است که ابتدا و انتهای پوشش گیاهی را در فضای قرمز تا مادون قرمز به هم متصل می‌کند.

طبقه‌بندی شاخص‌ها به‌روش نظارت‌شده و با الگوریتم حداقل فاصله از میانگین^۱ انجام شد. پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه کنگر صحرایی یا سنبله

1. Minimum Distance to Mean
2. Kappa Coefficient

واریانس متغیر وابسته (Y) است که بر مبنای متغیر مستقل (X) به صورت خطی تبیین می‌شود. دامنه تغییرات هر دو ضریب بین صفر و یک است و مقدار بالای آنها ارتباط بالای مقادیر ارزش طیفی در این دو باند را نشان می‌دهد.

رابطه خط خاک و باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به منظور کاهش اثر خاک و بازتاب زمینه چنین است:

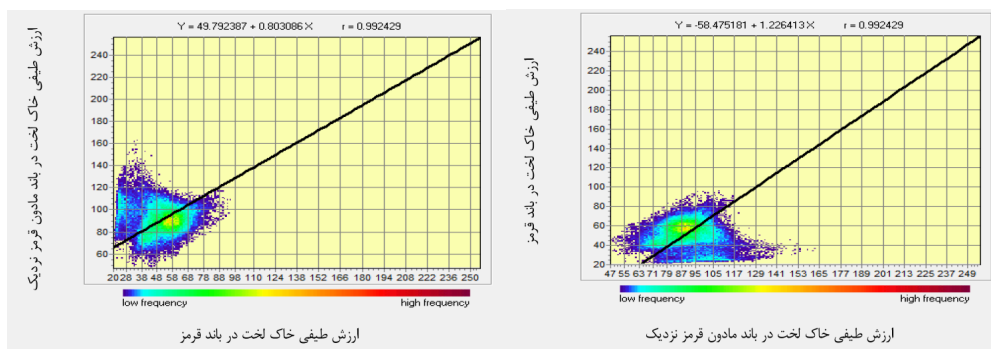
$$Y = 0/803086X + 49/792387 \quad (۴)$$

که در آن، X و Y به ترتیب ارزش طیفی خاک لخت در باند قرمز و باند مادون قرمز نزدیک است.

$$Y = 1/226413X - 58/475181 \quad (۵)$$

که برخلاف رابطه (۴)، X ارزش طیفی خاک لخت در باند مادون قرمز نزدیک و Y ارزش طیفی خاک لخت در باند قرمز است.

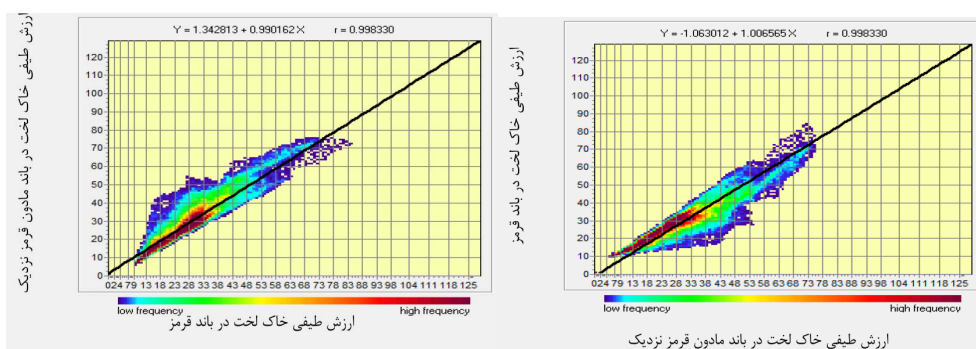
داشتند، تصحیح هندسی شدند و میزان خطای ریشه میانگین مربعات برای تصویر TM معادل ۰/۱۴ و برای تصویر IRS معادل ۰/۱ پیکسل به دست آمد. سپس باندهای تصحیح شده در معادلات شاخص‌های گیاهی وارد شدند، و نقشه پوشش مربوط به هر کدام از شاخص‌ها به دست آمد. شکل ۲ نمودار خط خاک منطقه مطالعه شده را روی تصویر TM نشان می‌دهد. در این شکل، انحراف معیار باند قرمز ۱۰۰/۷۷ و انحراف معیار باند مادون قرمز نزدیک ۸۱/۵۴ است. ضریب تبیین و ضریب رابطه رگرسیونی این دو باند به ترتیب ۹۸/۴۹ و ۹۹/۲۴ درصد به دست آمد. ضریب رگرسیونی، میزان همبستگی بین مقادیر مشاهده شده متغیر وابسته و مقدار پیش‌بینی شده آن از روی مدل رگرسیون را نشان می‌دهد. ضریب تبیین نیز بیانگر مقداری از



ب

الف

شکل ۲. الف) پراکنش ارزش‌های طیفی پیکسل‌های دارای خاک لخت در فضای طیفی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، ب) پراکنش ارزش‌های طیفی پیکسل‌های دارای خاک لخت در فضای طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز روی تصویر TM



ب

الف

شکل ۳. الف) پراکنش ارزش‌های طیفی پیکسل‌های دارای خاک لخت در فضای طیفی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، ب) پراکنش ارزش‌های طیفی پیکسل‌های دارای خاک لخت در فضای طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز روی تصویر IRS

و Wdvi به کار می‌روند (Ibid).

در طبقه‌بندی شاخص‌های گیاهی با توجه به مقادیر دقت کلی و ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطا، مشخص گردید که بهترین پاسخ و بالاترین دقت برای کنگر صحرایی روی تصویر TM، مربوط به شاخص‌های NDVI، Ratio، RVI و TVI و برای سنبله نقره‌ای مربوط به شاخص‌های NDVI، PVI 1، PVI 2، RVI و Wdvi است. همچنین بهترین پاسخ و بالاترین عملکرد برای کنگر صحرایی روی تصویر IRS مربوط به شاخص AVI و برای سنبله نقره‌ای مربوط به NDVI است (جدول ۱).

نقشه پوشش گونه‌های کنگر صحرایی و سنبله نقره‌ای حاصل از شاخص‌هایی که بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر شاخص‌ها داشتند برای هر دو تصویر تهیه گردید و سپس مساحتی که با این دو گونه مهاجم اشغال شده است به وسیله این شاخص‌ها به دست آمد (شکل ۴). در شکل ۴، بیشترین سطح اشغال شده با کنگر صحرایی روی تصویر TM مربوط به شاخص‌های RVI و TVI و برای سنبله نقره‌ای مربوط به شاخص DVI است. بیشترین سطح اشغال شده با کنگر صحرایی روی تصویر IRS مربوط به شاخص PVI و برای سنبله نقره‌ای مربوط به شاخص SAVI L0.25 است.

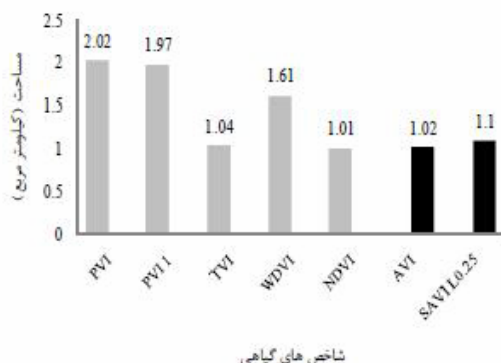
در شکل ۳ انحراف معیار باند قرمز ۵۰/۲۶، انحراف ضریب معیار باند مادون قرمز نزدیک ۴۹/۵۸، و ضریب تبیین و ضریب رابطه رگرسیونی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک برابر ۹۹/۶۷ و ۹۹/۸۳ درصد است. این ضرایب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهند که چون اختلاف چندانی بین بازتاب خاک زمینه در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک وجود ندارد، تحلیل عمدتاً روی شیب خط خاک صورت می‌گیرد، که بیانگر خاک مرطوب یا خاک خشک و میزان تراکم پوشش گیاهی است. رابطه خط خاک و باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک روی تصویر IRS چنین است:

$$Y = 0/990162X + 1/342813 \quad (۶)$$

که در آن، X ارزش طیفی خاک لخت در باند قرمز و Y ارزش طیفی خاک لخت در باند مادون قرمز نزدیک است. ضرایب خط خاک (شیب و مقدار ثابت) رابطه (۶) و رابطه (۴) برای ایجاد شاخص‌های PVI 2، PVI 3، TSAVI 1 و TSAVI به کار می‌روند (Schmidt & Karnieli, 2001).

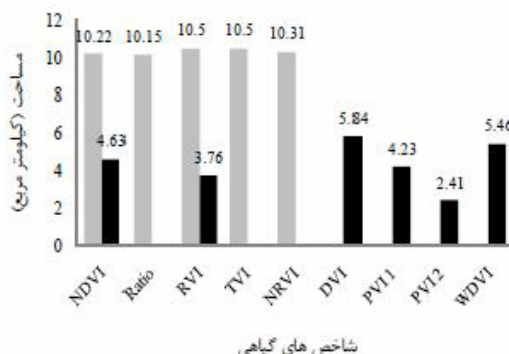
$$Y = 1/006565X - 1/063012 \quad (۷)$$

که در آن X و Y به ترتیب ارزش طیفی خاک لخت در باندهای مادون قرمز و قرمز است. ضرایب رابطه (۷) و رابطه (۵) برای ایجاد شاخص‌های PVI 1، PVI 2، DVI و



■ *Cirsium arvense* ■ *Stachys byzantina*

(ب)



■ *Cirsium arvense* ■ *Stachys byzantina*

(ف)

شکل ۴. میزان مساحت اشغال شده منطقه با دو گونه روی الف) تصویر TM و ب) تصویر IRS

کریم سلیمانی و همکاران

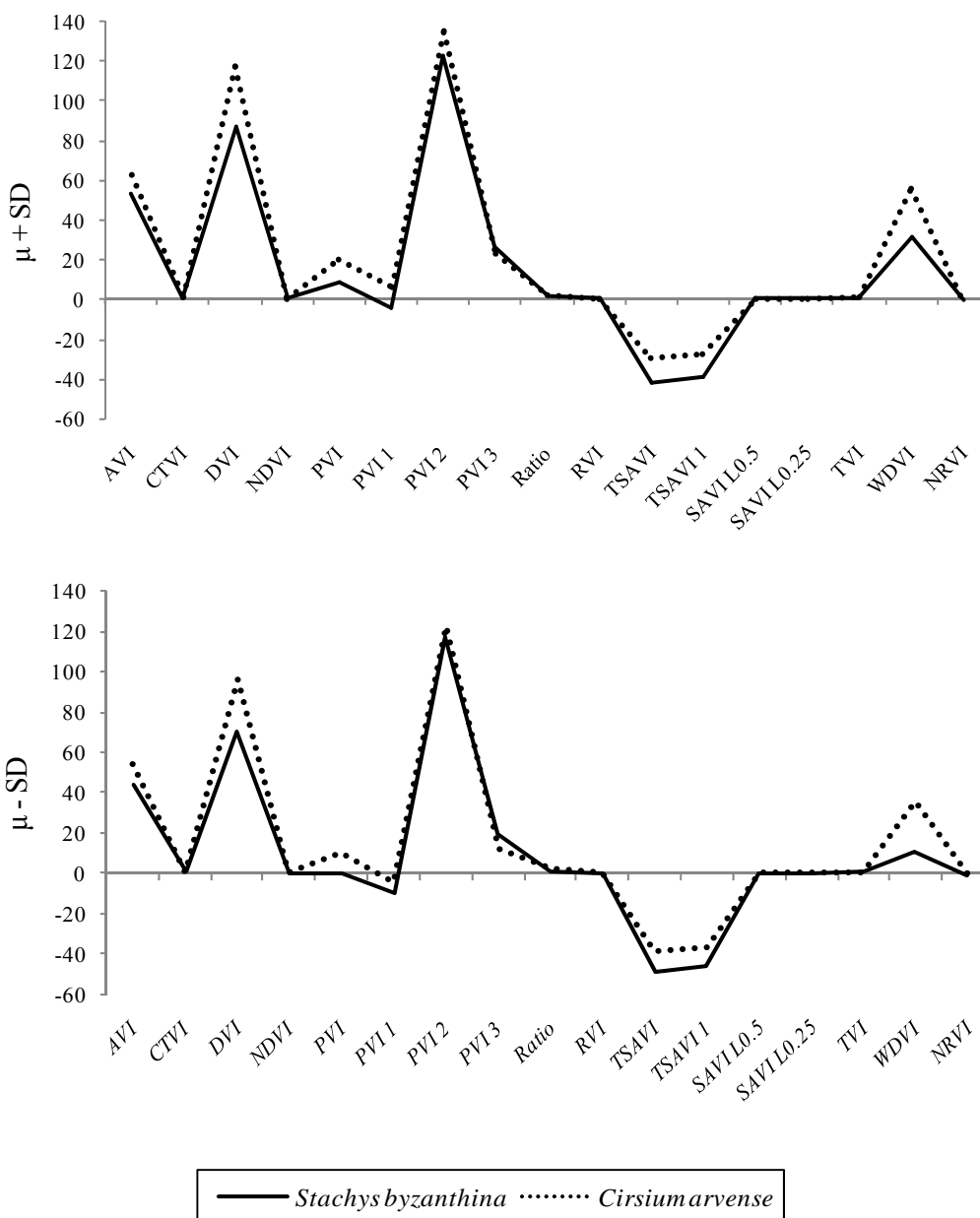
جدول ۱. دقت کلی و ضریب کاپای شاخص‌های گیاهی حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده

| | ضریب کاپا | | | | دقت کلی (درصد) | | | | شاخص گیاهی |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------|------------|
| | TM | | IRS | | TM | | IRS | | |
| <i>S. byzanthina</i> | <i>C. arvense</i> | <i>S. byzanthina</i> | <i>C. arvense</i> | <i>S. byzanthina</i> | <i>C. arvense</i> | <i>S. byzanthina</i> | <i>C. arvense</i> | | |
| ۰/۰۸ | ۰/۴۲ | ۰/۵۵ | ۰/۷۵ | ۵۷/۱۴ | ۷۱/۴۲ | ۶۵ | ۷۵ | AVI | |
| ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۲۴ | ۰/۲۵ | ۶۲/۵ | ۷۵ | ۳۹/۰۲ | ۴۵ | CTVI | |
| ۰/۷۲ | ۰/۴۶ | ۰/۲۴ | ۰/۲۵ | ۸۷/۵ | ۷۱/۴۲ | ۳۹ | ۴۳/۶ | DVI | |
| ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۸۳ | ۰/۵۵ | ۸۷/۵ | ۸۷/۵ | ۸۶/۰۱ | ۷۵ | NDVI | |
| ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۷۵ | ۷۵ | ۴۳/۵۹ | ۴۵ | NRVI | |
| ۰/۴۶ | ۰/۴۶ | ۰/۷۵ | ۰/۵۳ | ۷۱/۴۲ | ۷۱/۴۲ | ۸۵ | ۵۷/۱۴ | PVI | |
| ۰/۷۵ | ۰/۲۵ | ۰/۷۵ | ۰/۵۳ | ۸۷/۵ | ۶۲/۵ | ۷۵ | ۵۷/۱۴ | PVI 1 | |
| ۰/۷۵ | ۰/۲۵ | ۰/۵۵ | ۰/۵۷ | ۸۷/۵ | ۶۲/۵ | ۶۵ | ۶۵ | PVI 2 | |
| ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵۵ | ۰/۶۵ | ۷۵ | ۷۵ | ۶۵ | ۶۵ | PVI 3 | |
| ۰/۲۵ | ۰/۷۵ | ۰/۵۷ | ۰/۵۷ | ۶۲/۵ | ۸۷/۵ | ۶۴ | ۶۱/۵۶ | Ratio | |
| ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۴۶ | ۰/۴۶ | ۸۷/۵ | ۸۷/۵ | ۵۰ | ۵۷/۱۴ | RVI | |
| ۰/۳۶ | ۰/۶۹ | ۰/۵۷ | ۰/۷۵ | ۷۱/۴۲ | ۸۵/۷ | ۶۴ | ۷۳ | SAVI L0.25 | |
| ۰/۵ | ۰/۶۹ | ۰/۵۳ | ۰/۴۶ | ۷۵ | ۸۵/۷ | ۵۷/۱۴ | ۵۰ | SAVI L0.5 | |
| ۰/۲۲ | ۰/۳۱ | ۰/۴۶ | ۰/۴۶ | ۵۷/۱۴ | ۶۴/۲۸ | ۵۷/۱۴ | ۵۰ | TSAVI | |
| ۰/۶۹ | ۰/۶۹ | ۰/۴۶ | ۰/۵۳ | ۸۵/۷ | ۸۵/۷ | ۵۷/۱۴ | ۵۲/۵۲ | TSAVI 1 | |
| ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۵ | ۷۵ | ۸۷/۵ | ۸۵ | ۶۵ | TVI | |
| ۰/۷۵ | ۰/۳۱ | ۰/۷۲ | ۰/۵۳ | ۸۷/۵ | ۶۴/۲۸ | ۷۱/۴۲ | ۵۷/۱۴ | WDVI | |

شکل ۵ بیان می‌کند که از میان شاخص‌های آنالیزشده روی تصویر TM، شاخص‌های DVI، PVI، TSAVI، TSAVI 1 و WDVI با درجات متفاوتی از تفکیک قادر به تفکیک این دو گونه از یکدیگرند. در این میان، شاخص‌های DVI و WDVI بهتر از بقیه عمل می‌کنند.

از آنجاکه هر طبقه کنگر صحرایی یا سنبله نقره‌ای با مقداری انحراف در اطراف میانگینش پراکنده شده، ابتدا برای یکپارچه‌کردن انحراف‌ها - مطابق شکل‌های ۵ و ۶ - $\mu \pm SD$ به‌عنوان معیاری برای پلات‌های طیفی انتخاب شد. این شکل‌ها به انتخاب بهترین شاخص اجرایی برای تفکیک کنگر صحرایی از سنبله نقره‌ای روی تصاویر TM و IRS کمک می‌کنند. تفسیر بصری

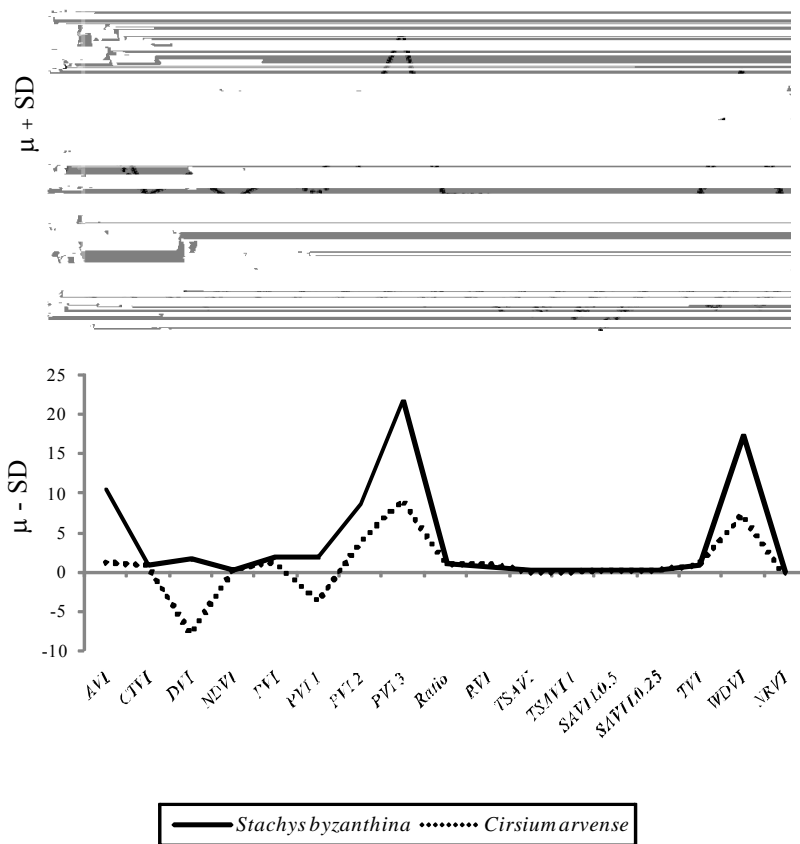
بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ای در پهنه‌بندی گونه‌های مهاجم (مطالعه مودی: مراتع وازرود)



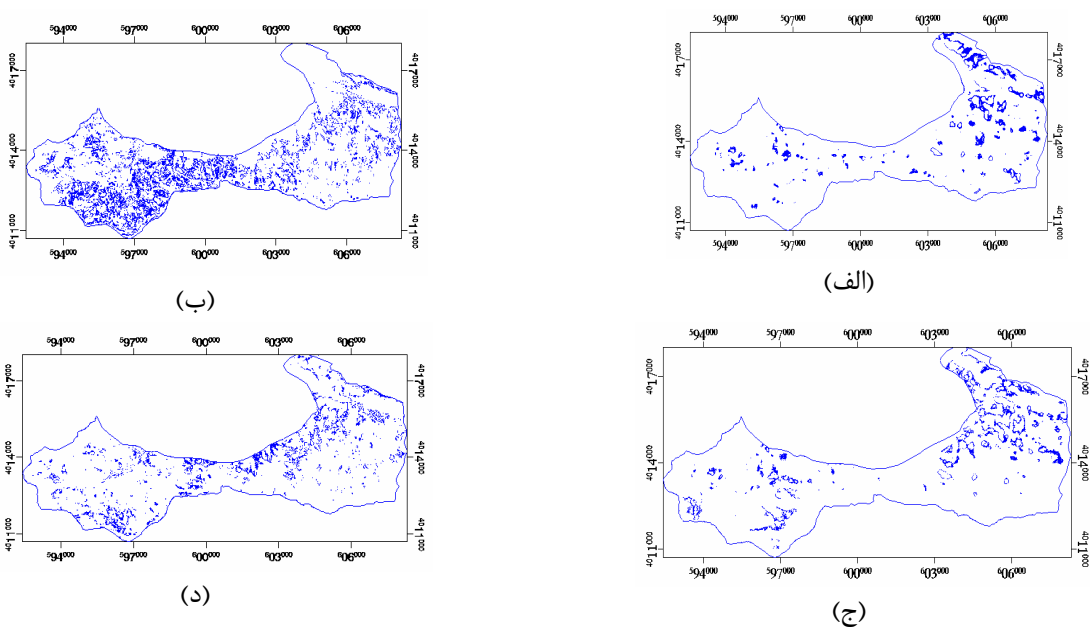
شکل ۵. آنالیز طیفی شاخص‌های گیاهی (شاخص گیاهی در مقابل $\mu \pm SD$) حاصل از باندهای لندست TM

گونه‌ها، شاخص‌های مذکور به‌عنوان معیار تفکیک، نتایج خوبی به‌دست می‌دهند. در پایان، نقشه پهنه‌بندی گونه‌های مذکور حاصل از طبقه‌بندی شاخص‌های مختلف تهیه گردید. در ادامه برخی نقشه‌ها که بالاترین ضریب کاپا و دقت کلی را دارند، نشان داده شده‌اند.

با توجه به شکل ۶ از میان شاخص‌های گیاهی آنالیزشده روی تصویر IRS، شاخص‌های AVI، DVI، PVI 2 و PVI 3 با WDV1 در درجات متفاوتی از تفکیک قادر به تفکیک این دو گونه از یکدیگرند. در این میان شاخص‌های DVI، PVI 3 و WDV1 عملکرد بهتری از بقیه دارند. بنابراین در مطالعات بعدی درخصوص این



شکل ۶. آنالیز طیفی شاخص‌های گیاهی (شاخص گیاهی در برابر $\mu \pm SD$) حاصل از تصویر IRS



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی گونه کنگر صحرائی حاصل از (الف) شاخص AVI تصویر IRS و (ب) شاخص TVI تصویر TM؛ و نقشه پهنه‌بندی گونه سنبله نقره‌ای حاصل از (ج) شاخص NDVI تصویر IRS و (د) شاخص WdVI تصویر TM

۴- بحث و نتیجه‌گیری

از آنجاکه دستیابی به داده‌های پایه و به‌روز از مراتع مستلزم اندازه‌گیری‌های متوالی در دوره چندساله است، و هرکدام از اجزای مراتع بازتابش متفاوتی در طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس دارند و تمایز برخی عوارض در برخی محدوده‌های طیفی نمود بیشتری می‌یابد، برای مطالعه پوشش مرتعی و پوشش سطح زمین از شاخص‌های گیاهی استفاده می‌شود. برای بررسی دقیق پوشش و حتی تعیین نوع پوشش نمی‌توان فقط از یک شاخص گیاهی استفاده کرد و استفاده از چند شاخص در کنار یکدیگر و نیز استفاده از اطلاعات جانبی درخصوص منطقه، بسیار مفید و نتیجه‌بخش خواهد بود. در محاسبه شاخص‌های گیاهی فرض بر این است که خطاهای خارجی ناشی از اتمسفر و زاویه دید نرمال شده‌اند، این در حالی است که مقادیر شاخص‌های گیاهی معمولاً تحت تأثیر اختلالات اتمسفری قرار دارند. بنابراین، تصحیحات دقیق هندسی و رادیومتری تصاویر از لازمه‌های پیش‌پردازش برای استفاده از شاخص‌های گیاهی است. در مطالعه حاضر نیز پیش از اعمال شاخص‌ها برای حذف تأثیرات نامطلوب اتمسفری روی تصاویر و ارائه روابط بهتری با پارامترهای کمی پوشش گیاهی و پایش دقیق عرصه‌های دارای پوشش، از روش چاوز استفاده شد. همان‌گونه که در بخش نتایج اشاره گردید، شاخص‌های NDVI و RVI حاصل از تصویر TM برای هر دو گونه کنگر صحرائی و سنبله نقره‌ای در مقایسه با سایر شاخص‌های بررسی‌شده، بهترین عملکرد را نشان دادند. از این نظر تحقیق حاضر با نتایج تحقیق پژوهشگران دیگری نظیر پترسون (۲۰۰۵)، بردلی و موستارد (۲۰۰۶)، هستیر^۱ و همکاران (۲۰۰۸) و اونگلیستا و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. در مطالعه کندوال و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأکید شده است که شباهت این دو شاخص به یکدیگر از این جنبه است که هر دو آنها معیاری از شیب خط بین فضای قرمز تا مادون قرمز نزدیک هستند. از نکات درخور توجه در نتایج

به‌دست‌آمده این است که شاخص 1 TSAVI نیز تقریباً دقتی مشابه این دو شاخص دارد و این تشابه عملکرد می‌تواند به دلیل اثر بسیار کم خاک پس‌زمینه در نمونه‌های اندازه‌گیری شده باشد. افزودن فاکتور خاک (L) به شاخص NDVI هیچ بهبودی در دقت پیش‌بینی ایجاد نکرده است. عملیات میدانی در زمانی انجام شد که گونه‌های مطالعه‌شده در رشد رویشی مناسب خود قرار داشتند و خاک پس‌زمینه تأثیر ناچیزی در بازتاب داشته است. شاخص TVI نیز که در ساختار خود شاخص NDVI را دارد - که هر دو معیاری از شیب خط بین فضای قرمز تا مادون قرمز نزدیک هستند - برای هردو تصویر تقریباً دقتی مشابه با NDVI دارند.

توانایی شاخص‌های TVI، PVI و AVI به‌دست آمده از تصویر IRS در تشخیص گونه‌های مهاجم، در مطالعه کندوال و همکاران (۲۰۰۹) نیز مشاهده گردید. شاخص NDVI تصویر IRS برای سنبله نقره‌ای عملکرد خوبی نشان داد که از این نظر تحقیق حاضر با نتایج تحقیق پژوهشگران دیگری نظیر پترسون (۲۰۰۵)، بردلی و موستارد (۲۰۰۶)، و هستیر و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. کندوال و همکاران (۲۰۰۹) و اونگلیستا و همکاران (۲۰۰۹) بر توانایی شاخص‌های گروه SAVI در تشخیص گونه‌های گیاهی تأکید ورزیدند، و نتایج این پژوهش در مورد کنگر صحرائی با یافته‌های آنها مطابقت دارد. تشابه دقت شاخص‌های AVI و SAVI L0.25 تصویر IRS در تشخیص کنگر صحرائی می‌تواند به دلیل اثر بسیار کم خاک پس‌زمینه در نمونه‌های اندازه‌گیری شده باشد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده، امکان تشخیص و نقشه‌برداری پوشش مهاجم با بهره‌گیری از داده‌های رقومی IRS و TM وجود دارد و استفاده از شاخص‌های با دقت مناسب برای تشخیص گونه‌های مهاجم در این منطقه مناسب به نظر می‌رسد. البته از آنجاکه ممکن است نتایج تصاویری که از سنجنده‌های مختلف به‌دست

1. Hestir

- Bradley, B.A. and J.F., Mustard, 2006, **Characterizing the Landscape Dynamics of an Invader Plant and Risk of Invasion Using Remote Sensing**, Ecological Application, 16 (3), PP. 1132- 1147.
- Chavez, P.S., Jr., 1988, **An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data**, Remote Sensing of Environment. 24, PP. 459-479.
- Drake, J.A., Mooney, H.A., Castri, F.D., Groves, R.H., Kruger, F.J., Aejmamek, M., and Williamson, M., 1989, **Biological invasions: a global perspective**, John Wiley and Sons: Chichester, 295 p.
- Evangelista, P.H., T.J., Stohlgren, J.T., Morisette, and S., Kumar, 2009, **Mapping Invader Tamarisk (Tamarix): A Comparison of Single-Scene and Time-Series Analyses of Remotly Sensed Data**, Remote Sensing, 1, PP. 519-533.
- Foody, G., 1992, **On the Compensation of Chance Agreement in Image Classification Accuracy Assessment**, Photogrametric Engineering and Remote Sensing, 58 (10), PP. 1459- 14600.
- Groten, S.M.E., Immerzeel, W., and L. Van Leeuwen, 1999, **Monitoring of Crops, Rangelands and Food Security at National Level**, ITC- FAO, Rome.
- Hardisky, M.A., Daiber, F.C., Roman, C.T. & Klemas, V., 1984, **Remote Sensing of Biomass and Annual net Aerial Primery Productivity of a Salt Marsh**, Remote Sensing of Environment, 16, PP. 91-106.
- می آیند متفاوت باشند، مطالعه تأثیر این شاخص های گیاهی با داده های سنجش از دور به دست آمده از سایر سنجنده ها نیز می تواند مورد توجه قرار گیرد. از نتایج کاربردی پژوهش حاضر این است که در طرح های مطالعاتی ای که دستگاه های اجرایی و مهندسی مشاور اجرا می کنند و معیار زمان (و هزینه به عنوان تابعی از زمان صرف شده) اهمیت زیادی دارد، استفاده از رویکردهایی که با صرف هزینه و زمان کمتر، دقت کافی دارند، ارجحیت می یابد. یافته های پژوهش حاضر، استفاده از تکنیک سنجش از دور را در پهنه بندی پوشش گیاهی مهاجم مناسب معرفی می کند.
- ۵- تشکر و قدردانی**
- پژوهشگران سپاس و قدردانی شان را از امور مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای حمایت مالی تحقیق و از آقای مهندس جلال زندگی به دلیل همکاری در برداشت میدانی ابراز می دارند.
- ۶- منابع**
- Adam, E. and O., Mutanga, 2009, **Spectral Discrimination of Papyrus Vegetation (Cyperus papyrus) in Swamp Wetlands Using Field Spectrometry**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, PP. 612- 620.
- Alavipanah, S.K., 2009, **Fundamentals of Modern Remote Sensing and Interpretation of Satellite Images and Aerial Photos**, University of Tehran Press, 780 P.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., and Huete, A.R., 1995, **A Review of Vegetation Indices**, Remote Sensing Review, 13, PP. 95-120.

- Hestir, E.L., Khanna, Sh., Andrew, M.E., Santos, M.J., and Viers, J.H., 2008, **Identification of Invader Vegetation Using Hyperspectral Remote Sensing in the California Delta Ecosystem**, Remote Sensing of Environment, 112, PP. 4038-4047.
- Huang, C. and G.P., Asner, 2009, **Applications of Remote Sensing to Alien Invader Plant Studies**, Sensors, 9, PP. 4869-4889.
- Huete, A.R., 1988, **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25, PP. 295-309.
- Joshi, C., 2006, **Mapping Cryptic Invaders and Invasibility of Tropical Forest Ecosystems: Chromolaena Odorata in Nepal**, Ph.D. Thesis in Production Ecology and Resource Conservation, University of Wageningen, Germany.
- Kandwal, R., Jeganthan, C., Tolpekin, V., and Kushwaha, S.P.S., 2009, **Descriminating the Invader Species "Lantana" using Vegetation Indices**, Indian Society of Remote Sensing, 37, PP. 275-290.
- Latifi, H., Oladi, J., Saroei, S., and Jalilvand, H., 2006, **Evaluating ETM+ Data Capability to Provide Cover Type Map in the Timberline of Northern Forests of Iran (Case Study: Neka- Zalemroud-Mazandaran)**, Agriculture Science and Natural Resources, 3, PP. 62-78.
- Miyazaki, H., Iwao, K., and Shibasaki, R., 2011, **Development of a New Ground Truth Database for Global Urban Area Mapping from a Gazetteer**, Remote Sensing, 3, PP.1177-1187.
- National Remote Sensing Agency, 2006, **CARTOSAT-1 Data User's Hand book (ed.)**, NRSA Data Center, 119 p.
- Oldeland J., Dorigo W., Lieckfeld L., Lucieer A., Jrgens N., 2010, **Combining Vegetation Indices, Constrained Ordination and Fuzzy Classification for Mapping Semi-natural Vegetation Units from Hyperspectral Imagery**, Remote Sensing of Environment, 114 (6), PP. 1155-1166.
- Peterson, E.B., 2005, **Estimating Cover of an Invader Grass (*Bromus tectorum*) Using Tobit Regression and Phenology Derived from two Dates of Landsat ETM+ Data**, International Journal of Remote Sensing, 26, PP. 2491-2507.
- Raine, N.E., Chittka, L., 2007, **Nectar Production Rates of 75 Bumblebee-visited Flower Species in a German Flora (Hymenoptera: Apidae: *Bombus terrestris*)**, Entomol Gener, 30(2), PP. 191-192.
- Rouse, J.W., Haas. R.H., Deering, D.W., Schell, J.A., & Harlan, J.C., 1974, **Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green wave effect) on Natural Vegetation**, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD. 371 p.
- Schmidit, H. and Karnieli, A., 2001, **Sensivity of Vegetation Indices to Substrate Brightness in Hyperarid Environment: The Maktesh Ramon Crater Case study**, Remote Sensing. 22 (17), PP. 3503- 3520.
- Underwood, E., Ustin, S., and Dipietro, D., 2003, **Mapping Nonnative Plants using**

- Hyperspectral Imagery**, Remote Sensing of Environment. 86, PP. 150-161.
- Vrindts, E. and Baerdemaeker, J.D., 1999, **Optical Weed Detection and Evaluation Using Reflection Measurements**, SPIE Digital Library, Spie.org/x648.html, 11 p.
- Zobeiry, M., and Majd, A.R., 2005, **An Introduction to Remote Sensing Technology and it's Application in Natural Resources**, University of Tehran Press, 317 p.