بررسی کاربردهای سنجش از دور در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی

دکتر محمد رحیمی
استادیار اقلیم شناسی دانشگاه سمنان

علی اکبر دماوندی
دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه سمنان

وحید جعفریان
دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه سمنان

چکیده

پیچیدگی و توسعه روزافزون پدیده‌های پویایی مانند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در قرن حاضر، فکر استفاده از فناوری‌های جدید را برای ارزیابی و پایش آنها معطوف نموده است *(علوی پناه،۱۳۸۲)*. **از مهمترین این فناوری‌ها که مبتنی بر فناوری‌های اطلاعات مکانی(ژئوانفورماتیک) هستند می‌توان به سنجش از دور[۲] و سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳] و سیستم موقعیت‌یابی جهانی[۴] اشاره نمود. در حقیقت امروزه بررسی تغییرات مکانی و زمانی پدیده‌های پیچیده‌ای مانند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی به منظور ارزیابی و پایش مستمر آنها برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح آنها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. انتظار آن است با ورود چنین فناوری‌های نوینی، امکان بررسی‌های بهتر و دقیق‌تر پدیده‌های زمینی میسر گردد. از این میان، فناوری سنجش از دور که مبتنی بر تهیه اطلاعات مکانی (در فواصل مشخص زمانی) توسط هواپیماها و ماهواره‌ها می‌باشد، نقش بسیار ارزنده‌ای در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی دارد. قابلیت‌های فراوانی که این فناوری ایجاد نموده است (چند طیفی بودن، گستره وسیع دید، رقومی بودن، افزایش روز افزون توان تفکیک طیفی، زمینی، زمانی، رادیومتری، ارزان بودن، پوشش تکراری و تنوع طیفی، سهل الوصول بودن داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و دقت بالای آنها) سبب ایجاد رویکرد جدیدی در مطالعات مربوط به ارزیابی و پایش بیابان‌زایی گردیده است.**

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، بیابانزایی، تخریب سرزمین، ارزیابی و پایش، تکنیک‌ها، تصاویر.

مقدمه

از زمانی که معاهده بین‌المللی مقابله با بیابان‌زایی[۱](UNCCD) سازمان ملل متحد برگزار گردید، نیاز به پایش و ارزیابی مراحل تخریب اراضی بیابانی توسعه بیشتری یافت. مقابله با پدیده تخریب سرزمین و بیابان زایی(تخریب سرزمین در مناطق بیابانی)، نیازمند ارزیابی وپایش نوع وشدت تخریب اراضی، تعیین دلایل تخریب صورت گرفته و اتخاذ اقدامات لازم برای مواجهه با مشکل پیش آمده و نیز بررسی صحت انجام پروژه‌های مزبوراست. اقدامات فوق پیچیده بوده و نیازمند بکارگیری روش‌های مبتنی بر سنجش و اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی می‌باشد. روش‌های ارزیابی و پایش سرزمین، روش‌های دقیق و مرتبط با سرزمین هستند که با مقیاسی انعطاف‌پذیر و با ترکیبی از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، بیوفیزیکی برای برنامه‌ریزی اقدامات و سرمایه‌گذاری بکار می‌روند***(Dregne, 1994)***. هدف اصلی از ارزیابی و پایش بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، معکوس‌سازی روندتخریب سرزمین، بهبود معیشت اجتماعی و اقتصادی، و حفاظت از اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی مورد نیاز است. عمده‌ترین دلیل برای مشکل بودن پایش این پدیده‌ها آن است که بیابان‌زایی صرفاً یک مشکل ساده تکنولوژیکی نیست بلکه فرایندی است که در طول زمان شکل می‌گیرد و بدلیل وجود انسان بعنوان عامل اصلی و نیز پیچیدگی محیط طبیعی، دارای دشواری‌های مخصوص به خود می‌باشد. ناتوانی در رفع معضل مذکور، ناشی از مدت زمان زیاد مورد نیاز برای انجام بررسی‌های لازم و پیچیده بودن کار ارزیابی و پایش می‌باشد.

توجه به عوامل و فرایندهایی که منجر به پدیده تخریب سرزمین و بیابان‌زایی می‌گردند (مانند تخریب پوشش گیاهی وخاک، فرسایش آبی و بادی، شوری خاک، فشردگی سطح خاک، پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و...) و نیز بررسی علل وعوامل ایجاد آن به منظور کنترل وارزیابی بیابان‌زایی کاملاً ضروری است. استفاده از فناوری‌های اطلاعات زمینی با قابلیت‌های بسیار مناسب به منظور ارزیابی و کنترل، تأثیر بسزایی در انجام صحیح این عمل دارد. نتایج حاصل ازاین ارزیابی‌ها می‌بایستی توسط تصمیم‌گیران دولتی و یا محلی از طریق تعیین اولویت‌های بودجه‌ای در سطوح محلی، ملی، منطقه‌ای و یا جهانی مورد استفاده قرار گیرند تا از وارد شدن زیان‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و در نهایت انسانی جلوگیری گردد *(مشکوه، ۱۳۷۷)*.

پیچیدگی و توسعه روزافزون پدیده‌های پویایی مانند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در قرن حاضر، فکر استفاده از فناوری‌های جدید را برای ارزیابی و پایش آنها معطوف نموده است *(علوی پناه،۱۳۸۲)*. از مهمترین این فناوری‌ها

که مبتنی بر فناوری‌های اطلاعات مکانی(ژئوانفورماتیک) هستند می‌توان به سنجش از دور[2] و سیستم اطلاعات جغرافیایی[3] و سیستم موقعیت‌یابی جهانی[4] اشاره نمود. در حقیقت امروزه بررسی تغییرات مکانی و زمانی پدیده‌های پیچیده‌ای مانند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی به منظور ارزیابی و پایش مستمر آنها برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح آنها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. انتظار آن است با ورود چنین فناوری‌های نوینی، امکان بررسی‌های بهتر و دقیق‌تر پدیده‌های زمینی میسر گردد. از این میان، فناوری سنجش از دور که مبتنی بر تهیه اطلاعات مکانی (در فواصل مشخص زمانی) توسط هواپیماها و ماهواره‌ها می‌باشد، نقش بسیار ارزنده‌ای در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی دارد. قابلیت‌های فراوانی که این فناوری ایجاد نموده است (چند طیفی بودن، گستره وسیع دید، رقومی بودن، افزایش روز افزون توان تفکیک طیفی، زمینی، زمانی، رادیومتری، ارزان بودن، پوشش تکراری و تنوع طیفی، سهل الوصول بودن داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و دقت بالای آنها) سبب ایجاد رویکرد جدیدی در مطالعات مربوط به ارزیابی و پایش بیابان‌زایی گردیده است. امروزه استفاده از فناوری سنجش از دور به طور روز افزونی در مطالعات مربوط به پدیده‌های زمینی (آب و خاک و پوشش گیاهی و ...) رو به گسترش بوده و استفاده از تکنیک‌های متنوع و دقیق این شاخه از علوم رو به توسعه می‌باشد. استقبال روزافزون بکارگیری از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور توسط محققان و تصمیم سازان در سطوح مختلف، تأیید کننده قابلیت مناسب این فناوری در چنین مطالعاتی می‌باشد***(Mainguet,1994)***.بنابراین ضروری است ضمن مرور مفاهیم تخریب سرزمین و بیابان‌زایی و اهمیت و جایگاه مهم آن در توسعه پایدار منابع طبیعی، روش‌های ارزیابی و پایش آنها مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان نسبت به معرفی روش مناسب‌تر مبادرت نمود. در این تحقیق ضمن معرفی روش‌های ارزیابی و پایش پدیده‌های مذکور و با بر شمردن ویژگی‌های روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و تکنیک‌های مربوط به آن(انواع شاخص‌ها)، دلایل پیشنهاد تغییر رویکرد ارزیابی‌های مبتنی بر آن در مباحث تخریب سرزمین و بیابان‌زایی ارائه گردیده است.

تعاریف

نبود تعریف واحد و عام برای برخی از واژه‌ها بدلیل سیر تکامل تدریجی مباحث مربوط، یکی از مشکلات اساسی پرداختن به آنها می‌باشد. در اینجا سعی بر آن است که جامع‌ترین تعاریف مربوط ارائه گردد:

پایش[5]: کسب مجموعه اطلاعات مستمر و مقایسه میزان دسترسی به اهداف، در هر کدام از سطوح پروژه بوده و بیانگر درستی انجام پروژه می‌باشد. پایش در طول اجرای پروژه صورت می‌گیرد.

ارزیابی[6]: عبارت است ازتحلیل میزان دسترسی یک پروژه به اهداف، در یک سطح از پروژه نسبت به سطوح بالاتر–ارزیابی پس از اتمام پروژه صورت می‌گیرد.

سرزمین[7]: یک منطقه قابل ترسیم و تشخیص زمینی از سطح کره زمین که تمام ویژگی‌های بیوسفر، بلافاصله در بالا و پائین این سطح را در برمی‌گیرد. این ویژگی‌ها عبارتند از: اقلیم نزدیک سطح، خاک و فرم‌های زمین، هیدرولوژی سطحی شامل دریاچه‌های کم عمق، رودخانه‌ها، باتلاق‌ها، لایه‌های رسوبی سطح زمین و ذخایر آب‌های زیرزمینی و ژئوهیدرولوژی، جمعیت‌های گیاهی و جانوری، الگوی سکونت انسانی و نتایج فیزیکی فعالیت انسان در حال و گذشته.

بیابان[8]: برای واژه بیابان تعاریف و تعابیر زیادی شده‌است. در فرهنگ ایرانی واژه بیابان عموماً به مناطق خشک و کم آب و علف اطلاق می‌شود (فرهنگ‌معین). دانشمندان علوم مختلف به فراخور دغدغه‌های خویش و نوع ارتباط آنها با بیابان، تعاریف مختلفی از واژه بیابان ارائه داده‌اند. به عنوان مثال برخی اقلیم شناسان، از شاخص متوسط بارندگی سالانه استفاده کرده و رقم‌های متفاوتی برای تمیز مرز بیابان از غیرآن، ارائه داده‌اند *(آمبرژه ۱۹۵۵،گوسن ۱۹۵۲،تورنتوایت ۱۹۸٤،خائو ۱۹۵٤)*. این تعاریف مفاهیم غیر جامع و ناقصی از مناطق بیابانی ارائه داده‌اند. ژئومورفولوژیست‌ها نیز اقدام به طبقه‌بندی و توصیف مناطق بیابانی کرده‌اند و واژه‌هایی نظیر بیابان تراکمی و بیابان فرسایشی، ابداع این حوزه از علم است (از جمله سیدورکو (۱۹۵۰)، کلمنتس (۱۹۵٤)، فدرویچ (۱۹٦٤) و ژاندرش (۱۹٦۲) اما تجربیات و شواهد موجود نشان می‌دهند که مرز حقیقی بیابان‌ها با مرزهای ژئومورفولوژیکی انطباق کامل ندارند.UNEP[9] (۱۹۷۷).تعریفی از بیابان ارائه داد که طبق آن بیابان به: اکوسیستم‌های زوال یافته‌ای اطلاق می‌گردد که استعداد تولید طبیعی گیاهان (بیوماس) در آنها کاهش یافته و یا به کلی از بین رفته است و این مهم نه تنها به عوامل اقلیمی بلکه به عوامل دیگر محیطی از جمله ساختار زمین شناسی و توپوگرافی، کمیت و کیفیت آب و خاک و خصوصاً دخالت‌های انسانی در محیط بستگی دارد.

تخریب سرزمین[10]: کاهش توان تولید بیولوژیک خاک در اراضی آبی و دیم، مراتع، جنگل‌ها، ناشی از فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری ناپایدار از سرزمین.

بیابانزایی[11]: در سال ۱۹۹۲تعریف زیر توسط UNEP ارائه گردید؛ «بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک، خشک نیمه مرطوب به سبب اثرات گوناگون ناشی از اعمال مخرب عامل انسانی».

سنجش از دور[12]: شامل فرآیند اخذ تصاویر به وسیله سنجنده‌ها بدون ارتباط مستقیم فیزیکی بین عارضه ثبت شده و وسیله اخذ داده و نیز مجموعه تکنیک‌ها برای پردازش و تفسیرتصاویر اخذ شده جهت تهیه نقشه‌های عمومی، نقشه‌های موضوعی، امور پایش منابع و سایر کاربردهای مربوط به خصوصیات عوارض سنجش شده می‌باشد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی[13]: پایگاه اطلاعات کامپیوتری که به ذخیره، تغییر، تبدیل، آنالیز و نمایش داده‌های جغرافیایی می‌پردازد.

علوم ژئوانفورماتیک[14]: به مجموعه‌ای از علوم، فن‌آوری‌ها، داده‌ها و تکنیک‌ها گفته می‌شود که جهت اخذ داده و تبدیل آن به اطلاعات و دانش در مورد عوارض زمین برای کاربردی خاص و یا عام می‌باشد. مهمترین زیر شاخه‌های آن شامل سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی و کارتوگرافی می‌باشد.

سیستم تعیین موقعیت جهانی[15]: سیستمی مرکب از ۲٤ ماهواره در مدارهای در گردش ثابت در دور زمین که امکان تهیه مختصات سه بعدی عوارض و بسیاری کارهای موقعیت‌یابی دیگر در سطح زمین را فراهم می‌آورند.

قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای[16]: بررسی پدیده‌های زمینی در سنجش از دور به کمک ویژگی‌هایی از سنجنده‌ها صورت می‌گیرد که به آنها قدرت تفکیک می‌گویند. در حقیقت سنجنده‌ها به کمک این قابلیت‌ها می‌توانند نسبت به بررسی و ارزیابی پدیده‌ها در بعد مربوط مبادرت نمایند.قدرت تفکیک‌های تصاویر ماهواره‌ای شامل زمینی(مکانی)، زمانی، طیفی و رادیومتری می‌باشد.

اهمیت تخریب سرزمین و بیابانزایی

هر چند بیابانزایی را سومین چالش پیش روی بشر در هزاره سوم لقب داده‌اند، اما به جرأت می‌توان ادعا کرد که بیش از هر عامل مستقل مخرب و کاهنده دیگری، مقبول‌ترین آرمان زمانه معاصر، یعنی «توسعه پایدار» را با چالشی جدی مواجه ساخته و شعارهای دولتی دستیابی به آن را به سخره گرفته است *(زهتابیان،۱۳۹۰)*. در این میان، تهدید بیابانزایی در ایران، کشوری که ابعاد آسیب‌پذیری و ناپایداری عرصه‌های طبیعی‌اش از همیشه بحرانی‌تر به نظر می‌رسد، نه تنها در سطح منطقه که در تمامی کره زمین و در مقایسه با اغلب کشورهای جهان پیش برنده‌تر وخطر سازتر است *(عبدی نژاد، ۱۳۸۹)*. سیطره ۸۹/۷ درصدی سرزمین‌های خشک، کمبود فاحش ریزش‌های آسمانی به نسبت میانگین‌های جهانی، پراکنش ناهنجار مراکز جمعیتی و عدم تناسب آن با اندوخته‌های آبی کشور، ضریب تغییرات فاحش اقلیمی آن از میانگین‌های دراز مدت سالانه، وجود شناسه‌های غیر قابل انکار فقر در تمامی ابعاد پنج‌گانه پایداری (بوم‌شناختی، سکونتگاهی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی)، به همراه میل شدید کشور به توسعه و جبران عقب ماندگی‌های اغلب تحمیل شده گذشته به هر قیمتی، بخشی از مهم‌ترین دلایل شدت و توسعه بیابانزایی در گستره کشورمان ایران است. در ایران امروز و به رغم اقدامات اجرایی و پژوهشی چشمگیر و شایان تحسین تلاشگران منابع طبیعی کشور، شتاب ناپایداری سرزمین به مرزهای نگران کننده‌ای رسیده است که نشان می‌دهد عزم کنونی برای حفاظت از ثروت ناهمتای طبیعی کشور، تحمل برابری با روش‌های غیر علمی و فشار حاکم بر زیست بوم‌های آن را ندارد.

شاخص‌های تخریب سرزمین و بیابانزایی

عبارتند از پارامترهایی از اکوسیستم که بیان کننده انجام تغییرات مثبت یا منفی در تخریب سرزمین و بیابانی شدن هستند. از خصوصیات این پارامترها قابلیت اندازه‌گیری و سنجش می‌باشد. به زبان دیگر، شاخص‌ها، ابزاری برای پایش و ارزیابی تخریب هستند. از طرفی، به منظور استفاده از یک ادبیات مشترک در مجامع بین‌المللی، استفاده از شاخص‌های تخریب سرزمین و بیابانزایی برای ارزیابی وضعیت بیابانزایی بسیار ضروری است. بر اساس آخرین گزارشات، تقسیم‌بندی شاخص‌های تخریب سرزمین و بیابانزایی به شرح ذیل می‌باشد:

- شاخص‌های فیزیکی و اکولوژیکی: اقلیم- آب- هرزاب- خاک‌ها-پوشش گیاهی و...
- شاخص‌های اقتصادی: کشاورزی- مدیریت‌اراضی- کاربری اراضی- کاشت- دامپروری و...
- شاخص‌های اجتماعی: سطح آموزش بزرگسالان- کمی جمعیت بدلیل تخریب- شاخص فقرانسانی و ...
- شاخص‌های مؤسساتی: برنامه‌های هیدرولوژی و جنگلداری-اراضی حفاظت شده- مخارج تحقیق و توسعه و ...
- شاخص‌های ترکیبی

معیارها و شاخص‌های تعیین شده بر اساس معیارها، به منظور ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابانزایی سیر طولانی از طریق اجرای طرح‌های بین‌المللی در سازمان‌های مربوط طی نموده است. از آنجائی که کشورهای مختلف بسته به شرایط طبیعی، اقتصادی و اجتماعی خود ممکن است سری متفاوتی از شاخص‌هارا برای شناخت وضع موجود تخریب سرزمین و بیابانزایی انتخاب نمایند، لذا توافق در سطح جهان برای معرفی شاخص‌های قطعی هنوز صورت نگرفته و در حالت کامل است *(اطلس ملی بیابانزایی۱۳۸۹)*.هر یک از کشورها در تعیین و نهایی نمودن شاخص‌های مختلف برای نظارت و ارزیابی بیابانزایی به پاسخ سؤالاتی از جمله موارد ذیل تفکر نمایند:

- چه روشی برای تفسیر وضع بیابانزایی و شدت آن به کار می‌برند؟
- آستانه تفسیر برای هریک از معیارها چیست؟
- راه و روش تعیین ارتباط وضع موجود با متغیرهای اقتصادی و اجتماعی چگونه است؟
- ارتباط درونی شاخص‌های چهارگانه، فشار، وضع موجود، تأثیر و نتایج چگونه است؟

برای مثال معیارهای اصلی و شاخص‌های وضعیت موجود بیابانزایی کشور در اطلس ملی بیابانزایی به شرح ذیل می‌باشد:

جدول ۱-معیارهای اصلی و شاخص‌های مرتبط با آن‌ها در ارزیابی وضعیت موجود تهیه اطلس بیابانزایی کشور

ردیف	نام معیار اصلی	نام شاخص ها
۱	واحدهای همگن اکولوژیک و زمین	کاربری اراضی، حساسیت سنگ و شیب
۲	منابع آب	منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی و روش‌های آبیاری
۳	پوشش طبیعی جنگلی	تراکم تاج پوشش
٤	پوشش طبیعی مرتعی	وضعیت پوشش مرتع
٥	پوشش زراعی	نوع کشت و قابلیت و تناسب اراضی
٦	منابع خاک	EC شوری و بافت خاک
۷	اقلیم	بارندگی، درجه خشکی و خشکسالی‌ها
۸	فرسایش خاک	فرسایش آبی و فرسایش بادی
۹	اقتصادی	خط فقر
۱۰	اجتماعی	تراکم جمعیت
جمع	۱۰ معیار اصلی	شاخص

ضرورت ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابانزایی

همانگونه که اشاره گردید، تخریب سرزمین و بیابانزایی خطری جدی و در حال پیشروی برای حاصلخیزی اراضی کشورهای درگیر با آن می‌باشد. لذا ارزیابی وپایش آنها، بمنظور برآورد کمی و کیفی شدت و میزان خسارات ناشی از آنها ضروری می‌نماید *(جعفری، ۱۳۸۳)*. در واقع هدف از ارزیابی وپایش تخریب سرزمین و بیابانزایی، شناسایی مکان‌های وقوع وشدت این پدیده، پیش‌بینی خطرات ناشی از این رویداد وتلفات ناشی از آن می‌باشد. از طرفی دیگر بدلیل آنکه پدیده بیابانزایی از پیچیدگی بالایی برخودار است، بررسی روند وتعیین مراحل وقوع آن بمنظور دستیابی به روش‌های پیشگیری و کنترل و در نهایت مدیریت پایدار مناطق بیابانی شده ضرورت می‌یابد *(Jabbar ,2006)*. تبعات ناشی از پدیده بیابانزایی که بطور مستقیم و غیر مستقیم حکومت‌ها را درگیر مسایل ناشی از آن می‌نماید (فقر، مهاجرت، کاهش محصولات کشاورزی و ...)، ضرورت ارزیابی و مدیریت آن را آشکارتر می‌سازد.

یکی از بهترین روش‌ها جهت ارزیابی تخریب سرزمین وبیابانی شدن اراضی (بیابانزایی) استفاده از مدل‌های بیابانزایی است که با توجه به شرایط منطقه صورت می‌گیرد *(احمدی، ۱۳۷۷)*. تاکنون مدل‌های مختلفی در جهان ارائه شده است که با توجه به شرایط منطقه از معیارها و شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی در مناطق مطالعاتی آنها نشأت گرفته است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل فائو-یونپ (۱۹۸٤)، مدل گلاسود (۱۹۹۰)، مدل آسود (۱۹۹۷)، مدل مدالوس (۱۹۹۹)، مدل آی سی دی((۱۳۷٦ و در نهایت مدل لادا (۲۰۰٦) اشاره کرد که مدل اخیر در حال مطالعه می‌باشد تا نسخه نهایی آن به حوزه‌های مرتبط عرضه شود.

قابلیت‌ها وکاربردهای سنجش از دور ماهواره‌ای

سنجش از دور در تمامی علومی که به نحوی با اطلاعات مکانی در ارتباط هستند کاربرد دارد. داده‌های ماهواره‌ای کاربرد وسیعی در امور کشاورزی و منابع طبیعی دارند. علاوه بر این در زمینه اوضاع کمی و کیفی محصولات کشاورزی، تشخیص برخی انواع محصولات، شناسایی درختان، برآورد سطح زیر کشت، رشد و نمو محصولات و تولید، آفات و امراض، کاربرد دارند. مطالعه جنگل‌ها و مراتع و تفکیک آنها بر اساس تراکم، گونه‌های جنگلی و مرتعی، تعیین نقش شوری، کم آبی، شناسایی هالوفیت‌ها و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، از دیگر کاربردهای داده‌های ماهواره‌ای است (کاربری زمین مربوط به استفاده خاصی است که انسان از زمین می‌کند، برای مثال زمین‌های جنگلی، مزارع، زمین آیش، زمین دیم، نمونه‌هایی از کاربری زمین هستند). یکی از مهم‌ترین کاربردهای داده‌های سنجش از دوری مطالعه و بررسی پدیده‌های پویا و در حال تغییر با طی زمان می‌باشد. از جمله پدیده‌های پویا در کشاورزی و منابع طبیعی می‌توان به رشد محصولات کشاورزی، تخریب خاک و پوشش گیاهی وتخریب اراضی و بیابانزایی اشاره نمود *(علوی پناه،۱۳۸۲)*. بدلیل آنکه بیابانی شدن و تخریب سرزمین در طی زمان رخ می‌دهد، بنابراین از طریق داده‌های ماهواره‌ای می‌توان نسبت به ارزیابی مکانی و زمانی اراضی بیابانی اقدام نمود.

داده‌های سنجش از دور به دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن، درمقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است که امروزه عامل نخستین در مطالعه سطح زمین و عوامل تشکیل دهنده آن محسوب می‌شود. امکان رقومی نمودن داده‌ها موجب شده است که سیستم‌های کامپیوتری بتوانند از این داده‌ها به طور مستقیم استفاده کنند و سیستم‌های داده‌های جغرافیایی و سیستم‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از این قابلیت طراحی و تهیه شده است. سهل‌الوصول بودن داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و دقت بالای آنها از امتیازات خاص این فن محسوب می‌شود *(زبیری،۱۳۷۷)*.از مهمترین کاربردهای داده‌های ماهواره‌ای می‌توان به طور اختصار به موارد زیر اشاره کرد:

الف- مطالعه تغییرات دوره‌ای

برخی از پدیده‌ها و عوارض سطح زمین در طی دوره‌های زمانی تغییر می‌یابند. علت این تغییرات می‌تواند عوامل طبیعی مانند سیل، آتشفشان، زلزله، تغییرات آب و هوایی، یا عوامل مصنوعی مانند دخالت انسان در محیط زیست باشد. برای مثال تغییر سطح آب دریای خزر در طی یک دوره ۱۰ تا ۲۰ ساله، تغییر میزان سطح پوشش و جنگل‌ها درشمال کشور و تغییر پوشش گیاهی نخل درجنوب کشور و میزان آسیب آنها در دوران جنگ را می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره ای با دقت بسیار زیادی مطالعه کرد.

ب- مطالعات زمین‌شناسی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان مرزهای بسیاری از سازندهای زمین‌شناسی را از یکدیگر تفکیک کرد، گسله‌ها را مورد مطالعه قرار داد ونقشه های گوناگون زمین شناسی تهیه کرد. از جمله نقشه‌های زمین شناسی گوناگون که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان تهیه کرد، نقشه گسله‌ها و شکستگی‌ها، نقشه سازندهای سنگی مختلف، نقشه خاکشناسی و نقشه پتانسیل ذخایر تبخیری سطحی هستند. افزون براین با توجه به گستره بسیار وسیع زیر پوشش هر تصویر ماهواره‌ای، چنین تصاویری برای مطالعات کلان منطقه‌ای برای زمین‌شناسان بسیار مفید است.

ج- مطالعات کشاورزی وجنگلی

تشخیص وتمایزگونه‌های گیاهی مختلف، محاسبه سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، مطالعه مناطق آسیب دیده کشاورزی براثر کم‌آبی یا حمله آفت‌های مختلف به آنها از جمله مهمترین کاربردهای داده‌های ماهواره‌ای است. تهیه نقشه جامع پوشش گیاهی هر منطقه، تهیه نقشه آبراهه‌ها و ارتباط آنها با مناطق مستعد کشت و برآورد میزان محصول زیر کشت از کاربردهای دیگر چنین اطلاعاتی است. لازم به ذکر است که وزارت بازرگانی و کشاورزی کشور ایالات متحده آمریکا از ابتدای تکوین تکنولوژی سنجش از دور همه ساله محصول کشاورزی کشور آمریکا وتمام کشورهای جهان را با استفاده ازتصاویر ماهواره‌ای برآورد می‌کند تا برای برنامه‌ریزی بازار و تولید اطلاعات مفید و لازم را بدست آورد. افزون بر این مطالعه میزان انهدام جنگل‌ها و یا میزان پیشرفت جنگل‌کاری از کاربردهای دیگر این تصاویر است.

د- مطالعات منابع آب

مطالعه آب‌های سطحی منطقه و تهیه نقشه آبراهه‌ها، بررسی تغییر مسیر رودخانه‌ها بر اثر عوامل طبیعی یا مصنوعی، تخمین میزان آب سطحی هر منطقه از جمله جالب‌ترین کاربرد داده‌های ماهواره‌ای است.

کشور ما از جمله کشورهایی است که با وجود داشتن منابع آب‌های سطحی در بسیاری مناطق از مشکل کم آبی رنج می‌برد، که استفاده از تکنولوژی نوین وبه دست آوردن اطلاعات دقیق می‌تواند راهگشای استفاده بهتر از منابع آب کشور باشد.

ه- مطالعات دریایی

از تکنولوژی سنجش از دور بخصوص در چند زمینه مهم کاربردهای دریایی می‌توان استفاده کرد که ازآن جمله مطالعات دوره‌های پیشروی و پسروی کرانه دریا؛ مطالعات عمومی ویژگی‌ها و خصوصیات توده‌های آبی مثل نقشه دمای سطح و رنگ آب و نقشه تراکم میزان کلروفیل و پلانکتون و مطالعات مربوط به تأثیر سایر پدیده‌ها بر دریا، از جمله وضعیت حرکت وتندی امواج دریا و غیره هستند.

تا به حال، سنجنده‌ها و ماهواره‌های مخصوصی فقط برای مطالعات دریاها و اقیانوس‌ها طراحی وساخته شده است. مهمترین این ماهواره‌ها عبارتند از ماهواره «موس» ژاپن وماهواره «سی ست» آمریکا.

و- مطالعه بلایای طبیعی

امروزه برآورد میزان خسارت ناشی از بلایای طبیعی از قبیل سیل، زلزله، آتشفشان، طوفان وغیره با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بسیار متداول است. تعیین راهبرد مناسب برای جلوگیری و کاهش خسارت بلایای طبیعی از جمله دیگر کاربردهای داده‌های ماهواره‌ای است.

ز- باستان‌شناسی

با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای، ضمن بررسی عارضه‌های زمینی ناشی از کاووش‌های باستانی می‌توان هر گونه مداخله در حریم آثار تاریخی و فرهنگی را کنترل و نظارت نمود.

ح- هواشناسی

ماهواره‌های هواشناسی وضعیت هوای زمین را بررسی می‌کنند و ابزار مهمی برای پیش‌بینی وضع هوا به شمار می‌آیند به نحوی که می‌توان با استفاده از آنها انواع وقایع طبیعی نظیر طوفان، گردباد، سیل برف و گردباد و خشکسالی را برآورد نمود وبه موقع اخطار داد.

پیشینه تحقیق

به طور کلی تحقیقات صورت گرفته در خصوص بکارگیری فناوری اطلاعات زمینی و سنجش از دور در ارزیابی تخریب سرزمین و بیابانزایی در جهان و ایران به دو صورت کلی می‌باشد(*S. Sommer et al, 2011*).

۱- در قالب استفاده از مدل‌های ارزیابی بیابانزایی مانند GLASOD ،FAO-UNEP،LADA ...

در این مدل‌ها، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی بعنوان یکی از ابزارهای مهم تهیه لایه‌های اطلاعاتی مانند تهیه نقشه پوشش گیاهی، تهیه نقشه خاک ویا سایر اطلاعات مورد استفاده مانند نقشه شوری، کاربری اراضی و...بکار گرفته می‌شوند. رویکرد مدل‌های جدید در کارکردن بر بسترهای سنجش از دور وسیستم اطلاعات زمینی می‌باشد.

۲- در قالب بکارگیری روش‌های ارزیابی مبتنی بر روش‌های سنجش از دوری مانند استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی، خاک و ....

در این نوع از تحقیقات، پایه اصلی تحقیق بر روی روش‌های مبتنی بر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مانند نسبت گیری باندها، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، طبقه‌بندی تصاویر، تکنیک‌های بررسی تغییرات و سایر روش‌ها استوار می‌باشد. در اینگونه تحقیقات مقایسه باندهای مختلف سنجنده‌های ماهواره‌ای در بررسی و ارزیابی تخریب سرزمین و بیابانزایی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. معمولاً روش‌های ارزیابی در این موارد بر مبنای بررسی تغییرات مکانی و زمانی بیابانزایی می‌باشد که از طریق تکنیک‌های مربوط صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه تغییرات پوشش گیاهی یکی از شاخص‌های مهم تغییرات بیابانزایی می‌باشد، تکنیک استفاده از انواع شاخص‌های پوشش گیاهی برای ارزیابی بیابانزایی از طریق تصاویر ماهواره ای بسیار کارآمد و مفید می‌باشد.

الف- بررسی مدل‌های ارزیابی تخریب سرزمین و بیابانزایی در جهان و ایران

نخستین اقدامی که در زمینه ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی با هدف درک مسائل پیچیده این پدیده صورت گرفت (۵۰سال قبل)، تهیه نقشه جهانی بیابانزایی بود که توسط FAO [۱۷], NESCO[۱۸], WMO[۱۹] (۱۹۷۷) و به دنبال مطرح شدن مسائل بیابانزایی انجام پذیرفت. این نقشه که با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰۰ تهیه گردید ترسیم کننده مناطق بیابانی و نیز مناطقی بود که غالباً در حاشیه بیابان‌ها واقع شده و در معرض خطر شدید بیابانزایی بودند. در نقشه مذکور هر منطقه با درجه خطر بیابانزایی مربوطه و ذکر فرآیندهایی که منجر به بروز پدیده مزبور شده‌اند (حرکت ماسه‌ها، بادبردگی، فرسایش و شور شدن) چه به واسطه فشار شدید انسان و دام (عوامل انسانی) و چه به لحاظ قرار گرفتن در مناطق زیست اقلیمی خاص (فراخشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب) کدبندی و طبقه‌بندی گردید. در این روش، به عوامل، فرآیندها و جنبه‌های مختلف بیابانزایی به خوبی اشاره شده است ولی در تعریف شاخص‌ها و معیارها و تنظیم یک مدل ساده و روان با ضعف‌هایی همراه است *(اطلس ملی بیابان زایی،۱۳۸۹)*.

مجمع جهانی ارزیابی تخریب خاک موسوم به GLASOD[۲۰] نیز در دهه ۱۹۸۰ اقدام به طراحی مدلی جهت ارزیابی تخریب منابع خاک به عنوان بستر اصلی بیابانزایی نمود ولی بدلیل نگرش تک بعدی به موضوع، کمتر

مورد استقبال کارشناسان مسائل بیابانی قرار گرفته است. در طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ نیز مدل دیگری توسط کمیته اروپایی ارزیابی بیابانزایی و محیط زیست موسوم به مدالوس، تحت عنوان ESAs پیشنهاد گردید و در پاره ای از کشور های اروپایی از جمله اسپانیا و ایتالیا مورد ارزیابی و باز نگری قرار گرفت. از ویژگی‌های مثبت این مدل، امکان امتیازدهی شاخص‌ها در کاربری‌های مختلف اراضی و تشکیل لایه‌های اطلاعاتی مجزاست .

طرح روشی موقت برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی (روش فائو- یونپ) به مدت چهار سال (۱۹۸۰ لغایت ۱۹۸٤) انجام گردید. تدوین این روش، تکامل و گسترش آن به صورت مرحله‌ای، طی بررسی‌های مختلف توسط اعضای رسمی و راهنمایی‌های کارشناسان شرکت کننده انجام شد و مقرر گردید که شاخص‌ها کمی باشند، نسبت به تغییرات جزیی حساسیت نشان دهند، به راحتی قابل اندازه‌گیری باشند و در ضمن تعداد آن‌ها محدود باشد. در این طرح یک روش یا مدل مقدماتی ارائه گردید که در آن وضعیت فعلی و نرخ و خطر بیابانزایی تشریح شده است. شاخص‌های ویژه هریک از فرآیندهای بیابانزایی در این روش عبارت بود از: زوال پوشش گیاهی، فرسایش آبی، فرسایش بادی، گسترش شوری، کاهش ماده آلی خاک، تجمع بیش از حد مواد سمی در خاک، فشرده شدن سطح خاک و تشکیل سله. این طرح در مدت مذکور در نقاط مختلف جهان از جمله مکزیک، تگزاس، ولتای علیا، سودان، تونس، سوریه، پاکستان، ترکمنستان و استرالیا مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. در این روش معیارها و شاخص‌ها، تحت عنوان عامل ارزیابی و از سه جنبه الف) وضعیت بالفعل ب) سرعت ج) استعداد طبیعی مورد بررسی قرار گرفته و برای تعیین شدت بیابانزایی از ٤ کلاس ناچیز، متوسط، شدید وخیلی شدید استفاده شده است.

در سال ۱۹۹۰ کمیسیون اروپا پروژه MEDALUS[۲۱] را با هدف انجام دادن بررسی‌های پایه در بیابانزایی کشورهای مدیترانه پیشنهاد کرد. این پروژه به مدت ۹ سال و در سه مرحله انجام شد. در مرحله سوم آن که از سال ۱۹۹٦ تا ۱۹۹۹ به طول انجامید، مدلی تحت عنوان ESAS[۲۲] ارائه گردید. در این مدل چهار شاخص تحت عناوین شاخص کیفیت خاک، شاخص کیفیت اقلیم، شاخص کیفیت پوشش گیاهی و شاخص مدیریت به عنوان شاخص‌های کلیدی بیابانزایی تعریف شدند و در نهایت حساسیت مناطق بیابانزایی از میانگین هندسی شاخص‌های مذکور به دست آمد. اجرای این مدل در مدت زمان مذکور همزمان در سه کشور ایتالیا، پرتقال و اسپانیا انجام گرفت.

کنوانسیون بین‌المللی مقابله با بیابانزایی(UNCCD) برای اجرای اهداف خود، کشورها را ملزم به انجام یک سری تعهدات از جمله تدوین و اجرای برنامه اقدام ملی نمود. در خلال سال‌های گذشته از زمان امضای کنوانسیون در سال ۱۹۹٤ تاکنون، اکثر کشورهای متعهد برنامه اقدام ملی خود را تدوین و تا حدودی هم آن را اجرا نموده‌اند اما به دلیل نداشتن ابزاری برای پایش روند تغییرات بیابانزایی و یا کنترل بیابانزایی، امکان ارزیابی کشورها و خود کنوانسیون وجود نداشته است. موضوع فوق به عنوان چالش بزرگی برای کنوانسیون مطرح بود که نهایتاً با همکاری سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) این مهم انجام شد و روشی به نام ارزیابی تخریب سرزمین در مناطق خشک (LADA) تدوین و به صورت پایلوت در ٦ کشور انجام شد که در حال حاضر FAO در حال برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای بسط این روش در کشورهای دیگر می‌باشد. LADA فرایندی مشارکتی و جامعه محور مبتنی بر تمرکززدایی و جامع‌نگری به هم پیوسته را دنبال می‌کند. این روش با بهره‌گیری از مشارکت دامنه وسیعی از دست اندرکاران از جمله جوامع محلی و کارشناسان متخصص در سطوح مختلف، ابزارها و تکنیک‌های مختلفی در زمینه سنجش از دور، GIS، بهره‌برداری از الگوها و مدل‌های جمع‌آوری آنالیز و ثبت اطلاعات، شبکه سازی و تکنولوژی ارتباطات و در نهایت سیستم‌های به اشتراک‌گذاری اطلاعات در سطوح مختلف ملی، منطقه‌ای و جهانی را مدنظر قرار داده است. از اصول و شالوده‌های اساسی روش لادا، استفاده از مدل: عامل‌ها، فشارها، حالت‌ها، اثرات و پاسخ‌ها می‌باشد. این مدل بیانگر ارتباط انسان و محیط زیست می‌باشد. در این مدل علل تخریب، اثرات ناشی از آن و واکنش محیط تخریب مدنظر قرار می‌گیرد. بدین ترتیب می‌توان برای مقابله با تخریب سرزمین و رفع اثرات عوامل تخریب اقدام نمود. این مدل متأثر از اصول مدیریت پایدار سرزمین می‌باشد. برای تدوین شاخص‌های مورد استفاده در LADA از ۱۲۰ شاخص مورد استفاده در پروژه مدیترانه استفاده گردید که پس از اجرای آن‌ها در ٦ کشور پیشگام اجرای لادا، نهایتاً تعداد آنها به ۱۳۲ شاخص افزایش یافت. این شاخص‌ها در ٤ گروه کلی: خاک – اقتصادی و اجتماعی – پوشش گیاهی – آب دسته‌بندی می‌شوند.

اختصاصی و مهاجر در سال ۱۳۷٤، روشی را جهت طبقه‌بندی نوع و شدت بیابانزایی اراضی در ایران (ICD[۲۳]) منتشر نمودند. در این روش سعی گردیده است تا غالب عوامل مؤثر در بیابانی شدن اراضی بصورت گام به گام مورد بررسی قرار گرفته و با رعایت اثرات متقابل آنها، امکان ارزیابی نسبتاً دقیق و در عین حال آسان برای کارشناسان و محققان فراهم شود. توجه به چشم‌اندازهای طبیعی پوشش گیاهی و نوع شدت بهره‌برداری از تولیدات بیولوژیکی و نهایتاً کاهش توان تولیدی هر واحد به عنوان شاخص‌های اصلی تفکیک محیط‌های بیابانی و به دنبال آن شدت بیابانزایی از ویژگی‌های این روش می‌باشد. در روش مذکور عوامل مؤثر در بیابانزایی به روش ترازوی وزنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

روش بررسی

پژوهش حاضر از نوع تحقیقات تحلیلی – توصیفی است و برای انجام آن از روش ترکیبی (روش های میدانی،کتابخانه ای و اسنادی، تحلیلی و توصیفی استفاده شده است

ب- بررسی تکنیک‌های سنجش از دوری برای تحقیقات تخریب سرزمین و بیابانزایی

در سال‌های اخیر بکارگیری روش‌های مبتنی بر سنجش از دور توسط متخصصان و محققان مباحث تخریب و بیابانزایی بسیار زیاد شده است. این استقبال به دلیل امکانات فراوانی است که داده‌های ماهواره ای در اختیار آنها قرار می‌دهند. در ادامه به برخی از مهمترین تحقیقات مربوط به تخریب

سرزمین و بیابان‌زایی اشاره می‌گردد.

اکبری و همکاران (۱۳۸٦) در تحقیقی به ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه شمال شهر اصفهان پرداختند. این تحقیق با هدف ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور انجام گرفت. در انجام این پژوهش، از داده‌های ماهواره‌ای TM مربوط به ۲۵ شهریور ۱۳٦۹ و داده‌های ETM+ مربوط به ۱٦ شهریور ۱۳۸۰ استفاده گردید. داده‌های هر دو تصویر، با روش طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده در ۹ کلاس کاربری اراضی با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژی منطقه طبقه‌بندی و با بررسی انواع مناطق بیابانی، مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه کمی قرارگرفتند. هریک از عوامل اصلی و فرعی مؤثر در بیابان‌زایی، جهت تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی، با روش پیشنهادی برای ایران ونقشه خطر بیابان‌زایی با روش فائو، به پایگاه نرم‌افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی، معرفی و نمره‌دهی شدند. نتایج بدست آمده از شدت بیابان‌زایی که وضعیت، سرعت و استعداد بیابانی شدن را بیان می‌کند، نشان داد که در ۳۵ درصد منطقه، بیابان‌زایی با منشأ طبیعی حاکم بوده و از وضعیت شدت بیابان‌زایی متوسط، زیاد و خیلی زیاد برخوردار می‌باشد. شرایط بیابانی با منشأ انسانی، ٦۵ درصد از منطقه را پوشش می‌دهد و دارای وضعیت شدت بیابان‌زایی زیاد و خیلی زیاد است. اما با بررسی نقشه خطر بیابان‌زایی تولید شده، مشخص گردید در ۲۰ درصد با تأثیر همزمان انسان و دام، خطر بیابان‌زایی خیلی زیاد و در ۸۰ درصد منطقه با اثر تخریبی فقط دام، خطر بیابان‌زایی زیاد حکم فرماست.

فتاحی (۱۳۸۸) به بررسی روند بیابان‌زایی در استان قم با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تأکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب پرداخت. برای ارزیابی روند تغییرات استفاده از اراضی، از داده‌های ماهواره‌ای TM سال ۱۳٦٤و ETM + سال ۱۳۸۱ شمسی و برای تخمین تغییرات کمی و کیفی منابع آب، از اطلاعات و داده‌های هیدرومتری و هواشناسی استفاده گردید. مقایسه دو نقشه استفاده از اراضی سال‌های ۱۳٦٤ و ۱۳۸۱ شمسی تهیه شده از داده‌های ماهواره‌ای و به روش تفسیر بصری نشان داد که مساحت اراضی کشاورزی، مراتع، بیشه زارهای جنگلی، تپه‌های ماسه‌ای دریاچه‌های نمکی به ترتیب ۱۲/۵،۱۲/۵،٤،٤/۷۰،۲٤/۸و۱۵درصد کاهش یافته است، در حالی که سایر طبقه‌ها مانند اراضی شور، اراضی شهری و اراضی روستایی به ترتیب ۱۲/۷۸،۲٦/٦و۳۵/٦ درصد افزایش یافته است. در مجموع، به نظر می‌رسد فعالیت‌های انسانی و دستکاری او در طبیعت بویژه احداث سدهای ۱۵ خرداد و ساوه بر روی دو رودخانه قمرود و قره‌چای به عنوان دو عامل اصلی تغییر انواع استفاده از اراضی (با کاهش پوشش گیاهی، شور شدن بیشتر اراضی و ...) و افت کمی و کیفی منابع آب در استان قم بوده که می‌تواند تشدید بیابان‌زایی را به دنبال داشته باشد.

صادقی روش و همکاران (۱۳۹۱) آسیب پذیری زیست محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی درمنطقه خضرآباد یزد را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش با استفاده از این ابزارهای مدیریتی و در چارچوب مدل تحلیلی سلسله مراتبی توسعه یافته و با کاربرد شاخص آسیب‌پذیری زیست محیطی (EVI) اقدام به ارزیابی و پهنه بندی آسیب‌پذیری زیست محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی در منطقه خضرآباد گردید. مطالعات انجام شده نشان داد که ۸/۸۹٤ درصد از کل منطقه مطالعاتی تحت آسیب‌پذیری خیلی شدید و ۱٤/٦۳۳ درصد شدیداً آسیب‌پذیر می‌باشد و آسیب‌پذیری با شدت متوسط (٦۳/۵۱٦ درصد) بیشترین سهم را در منطقه مطالعاتی به خود اختصاص داده است. مطالعه صورت گرفته نشان از سودمندی و سهولت کاربرد شاخص آسیب‌پذیری زیست محیطی (EVI) در ارزیابی شدت بیابان‌زایی داشت. نتایج این پژوهش امکان برنامه‌ریزی را برای به حداقل رساندن بیابان‌زایی در اثر انجام طرح‌های توسعه فراهم می‌سازد و می‌تواند شرایطی را ایجاد کند که با توجه به اولویت‌ها و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه مطالعاتی، تعادل بین طرح‌های توسعه و محیط امکان‌پذیرگردد. شفیعی و همکاران (۲۰۱۱) شدت بیابان‌زایی را از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰٦ در دشت سیستان و با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM وETM+ مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور نامبرده از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند WDVI, NDVI, TSAVI, MSAVIبرای جدا سازی پوشش گیاهی استفاده نمود.در تحقیقی Li CUI (۲۰۰۸) به ارزیابی تغییرات بیابان‌زایی بر اساس روش سنجش از دور پرداختند. در این تحقیق از دو تصویر با دو زمان متفاوت از سنجنده (TM سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۱) برای ارزیابی تغییرات بیابان‌زایی استفاده گردید. نتایج نشان داد که سطوح اراضی بیابانی به میزان ۵۱ کیلومتر مربع توسعه یافته بود.

J.Hill و همکاران از دانشکده جغرافیای دانشگاه Trier آلمان (۲۰۰٦) در مقاله‌ای تحت عنوان: رویکرد سنجش از دور و ژئوماتیک برای پایش و ارزیابی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، به ارزیابی بیابان‌زایی وتخریب سرزمین در قالب پروژه‌های LADAMER و DeSurvey در منطقه مدیترانه پرداختند. آنان رویکرد استفاده از سنجش از دور و ژئوماتیک برای ارزیابی بیابان‌زایی را تأیید و به استفاده از این روش‌ها تأکید کردند.

Nasir M.Khan و همکاران از مدرسه علوم کشاورزی و زیستی دانشگاه توکیو(۲۰۰۵)، از طریق شاخص‌های سنجش از دوری، تخریب سرزمین‌های شور را مورد ارزیابی قرار دادند. بدین صورت که از طریق تصاویر ماهواره IRS-1B و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از شاخص‌های شوری خاک، اقدام به ارزیابی تخریب سرزمین در حوصه ایندوس پاکستان نمودند. بهترین نتایج حاصل مربوط به فصل خشک سال بود. از طریق پردازش رقومی تصاویر و نیز آنالیز توابع خوشه‌های مشابه حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های شوری نتایج بسیار خوبی را در خصوص ارزیابی تخریب سرزمین‌های شور به دست آوردند.

E.SYMONAKIS از گروه جغرافیای دانشگاه والنسیا و N.DRAKE از گروه جغرافیای دانشکده سلطنتی لندن در سال ۲۰۰٤ در تحقیقی به ارزیابی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در منطقه نیمه صحرایی آفریقا پرداختند. براساس این تحقیق سیستم ارزیابی و پایش بیابان‌زایی از ٤ شاخص و بوسیله داده‌های سنجش از دوری بدست می‌آید که عبارتنداز: پوشش گیاهی،کارایی استفاده از آب، رواناب سطحی و تخریب خاک که براساس دهک‌های زمانی سال ۱۹۹٦محاسبه شدند. پوشش گیاهی وشاخص کارایی استفاده از آب بر اساس شاخص NDVI، رواناب سطحی به روش SCS و فرسایش خاک بر اساس مدلی از جریان سطحی، پوشش گیاهی و نقشه‌های رقومی خاک و

نیز مدل رقوی زمین بدست آمد.در نتیجه از ادغام این ٤ شاخص مناطق با با بالاترین میزان حساسیت به بیابان زایی مشخص شدند. نتایج نشان داد که از این طریق می‌توان نسبت به ارزیابی روند مکانی و زمانی بیابان زایی اقدام نمود. (۲۰۰٤) B.Lacaze شاخص‌های اپتیکی و حرارتی تخریب سرزمین را براساس داده‌های سنجش از دوری مورد بررسی قرار دادند. براساس نظر نامبرده برخی از شاخص‌های تخریب سرزمین مانند وضعیت پوشش گیاهی را می‌توان از طریق داده‌های ماهواره ای بدست آورد که می‌تواند بیانگر وضعیت تخریب در منطقه باشد.این شاخص‌ها از طریق روش‌های غیرترکیبی طیفی قابل دسترسی می‌باشند.برخی از این شاخص‌ها عبارتند از:
NDVI-EVI-CVI-NDWI-NMIVCI-TCI-VHIVPI

Arnab Kunda-Dipanwita Dutta از گروه فضایی مؤسسه سنجش از دور هندوستان در سال ۲۰۱۱ ریسک خطر بیابان‌زایی ناشی از تغییر اقلیم و دلایل انسانی را با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در بخش شرقی بیابان تار هندوستان مورد بررسی قرار دادند. اساس این تحقیق بر این فرض بنا گردیده که تغییرات و تخریب پوشش گیاهی یکی از خصوصیات اصلی بیابان‌زایی می‌باشد. لذا بوسیله اطلاعات طولانی مدت NOAA-AVHRR از طریق روند زمانی تغییرات NDVI نسبت به ارزیابی بیابان زایی مبادرت گردید.با توجه به تغییرات پوشش گیاهی با میزان بارندگی،ارتباط NDVI با پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های NOAA-AVHRR برای ارزیابی طولانی پوشش گیاهی مناسب می‌باشند. کاربرد سیستم‌های شاخصی برای ارزیابی بیابان‌زایی در سطوح ملی و بین‌المللی در تحقیقی توسط S.Sommer و همکاران از مؤسسه محیط زیست و پایداری کمیسیون اروپا در سال ۲۰۱۱ مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. توصیه نویسندگان مقاله به نهادهای بین‌المللی سیاست‌گذاری‌های مقابله با بیابان‌زایی این است که روش‌ها و پارادیم‌های فعلی می‌بایست در ترکیب با اطلاعات کاربری اراضی موجود و داده‌های اضافی بیوفیزیکی و اقتصادی اجتماعی بکار گرفته شوند.

Juan Puigdefabregas و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله ای تحت عنوان: رویکردهای اکوسیستمی به تخریب سرزمین، با زیر سئوال بردن روش‌های فعلی ارزیابی تخریب سرزمین (مانند GLASOD-LADA) بدلیل هزینه‌های زیاد وانبوهی شاخص‌ها ی ازیابی،نگرش و رویکرد جدید اکوسیستمی را برای ارزیابی تخریب سرزمین پیشنهاد می‌کند. ایشان ٤ ویژگی اکوسیستم را برای ارزیابی تخریب مطرح می‌نمایند که عبارتند از: نسبت‌های هیدرولوژیکی- نسبت‌های انرژی- زیتوده و حاصلخیزی - الگوهای مکانی. بمنظور محاسبه و تخمین هر یک از این ویژگی‌های اکوسیستمی سنجش از دور و توانایی‌های آن کاربرد بسیار زیادی خواهد داشت. نویسندگان این مقاله از سازمان‌های بین المللی تقاضای تجدید نظر در روش‌های قبلی و استقبال از این رویکرد جدید را دارند.

تکنیک‌های سنجش از دوری ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی

سنجش از دور روشی است مبتنی بر داده‌های بدست آمده از انعکاس طیفی پدیده‌های زمینی (پوشش گیاهی، خاک، آب ...). این داده‌ها بطور مستقیم قابلیت تشخیص و استفاده‌های نظارتی و ارزیابی را ندارند بلکه پس از طی مراحل مختلف تبدیل به اطلاعات با ارزش می‌گردند. این فرایند تبدیل داده به اطلاعات توسط تکنیک‌های مبتنی بر منطق‌های ریاضی و آمار و احتمالات صورت می‌گیرد. در فرایند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، بدلیل تغییر شرایط سطح زمین و نیز تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پدیده‌های مرتبط گیاهی و خاکی،تغییراتی در انعکاس طیفی مناطق بیابانی شده نسبت به حالت قبل رخ می‌دهد که بوسیله تکنیک‌های سنجش از دوری بایست این تغییرات را بصورت کمی و کیفی بررسی کرد. مهمترین این تغییرات همان‌هایی هستند که تحت عنوان شاخص‌های تخریب سرزمین و بیابان‌زایی معرفی می‌گردند (تخریب پوشش گیاهی- فرسایش آبی و بادی،کاهش حاصلخیزی خاک،کاهش بیوماس و ...).

از قابلیت‌های مهم و منحصر بفرد داده‌های رقومی ماهواره‌ای، دارا بودن قدرت‌های تفکیک زمینی، زمانی، طیفی و رادیومتری می‌باشد. این قابلیت مهم تصاویر ماهواره‌ای امکان بررسی‌های مهمی همچون ارزیابی و پایش پدیده‌های پویایی چون تخریب سرزمین و بیابان‌زایی را در ابعاد مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتری فراهم می‌آورد. بنابراین پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در ابعاد گوناگون مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتری می‌تواند صورت گیرد. این ارزیابی در سه سطح الف) تخریب خاک لخت ب) تخریب پوشش گیاهی و کاربری اراضی وج)تخریب مورفولوژی زمینی قابل بررسی است***(Torrion, 2002)***. رویکردهای ارزیابی بیابان‌زایی توسط سنجش از دور بر پایه بررسی تغییرات زمانی ومکانی آنالیز مقایسه‌ای طبقه بندی تصاویر در زمان‌های مختلف وآنالیز همزمان داده‌های چند زمانی استوار است.

ماهیت ارزیابی و پایش بیابان‌زایی از نوع آشکارسازی تغییرات می‌باشد که با طی زمان صورت می‌گیرد. آشکارسازی تغییرات فرایندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت‌ها و اختلافات سری‌های زمانی پدیده‌ها وعوارض والگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند. در روند ارزیابی، تشخیص و درک به موقع و دقیق تغییرات بسیار مهم می‌باشد ***(ملیحه سادات مدنیان، ۱۳۸۸)***. داده‌های ماهواره‌ای بدلیل دارا بودن ویژگی‌های مهمی مانند بهنگام بودن، تکراری بودن، چندطیفی بودن، توان تفکیک مناسب زمانی مکانی و رادیومتری، فرمت رقومی و امکان پردازش کامپیوتری از پتانسیل بالایی برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی پدیده‌ها (از جمله تخریب سرزمین و بیابان‌زایی) برخوردار هستند.آشکار سازی تغییرات یکی از بیشترین و مهمترین کاربردهای سنجش از دور می‌باشد.بر اساس نوع پدیده و ماهیت تغییرات تکنیک‌های متعددی برای ارزیابی تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک‌ها دارای محاسن و معایبی هستند و بکارگیری آنها بستگی به پوشش طیفی داده‌ها، در دسترس بودن وکیفیت داده‌ها، شرایط محیطی، دانش و مهارت ارزیاب و زمان و هزینه ارزیابی دارد. یک ارزیابی خوب از تغییرات می‌بایست اطلاعات مفید زیر را در اختیار قرار دهد:

- محدوده و سرعت تغییرات
- توزیع مکانی انواع تغییرات
- روند تغییرات
- ارزیابی صحت نتایج بدست آمده از آشکار سازی تغییرات

بطورکلی روش‌های ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی با استفاده از فناوری سنجش از دور به دو روش صورت می‌گیرد:

الف- استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های سنجش از دوری

ب- استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری (شاخص‌های پوشش گیاهی،خاک،آب ،خشکسالی و...)

الف- استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های سنجش از دوری

مهمترین تکنیک‌های سنجش از دوری برای ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی عبارتند از:

تفریق تصاویر متناظر[۲۴]

در این تکنیک تصاویر ثبت شده از نظر مکانی در زمان‌های 1t و 2t پیکسل به پیکسل تفریق می‌شوند تا تصویری که نشانگر تغییر بین دو زمان است، تولید شود. تفریق تصویر روشی متداول در اجرای آنالیز آشکارسازی تغییرات بین دو تصویر است. تفاضل در مناطق بدون تغییر صفر و در مناطق تغییر یافته، بالاتر و پائین تر از صفر خواهد بود.

تفاوت شاخص‌های پوشش گیاهی[۲۵]

همانند روش اول می‌باشد با این تفاوت که به جای تفریق تصاویر، ابتدا شاخص‌های پوشش گیاهی ساخته شده و سپس اختلاف شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا میزان افزایش یا کاهش پوشش گیاهی مشخص گردد.

رگرسیون تصاویر[۲۶]

یکی از روش‌های استخراج اطلاعات و ارزیابی در تصاویر ماهواره‌ای ایجاد رگرسیون بین پارامتر زمینی مورد نظر و تصویر متناظر آن می‌باشد.از این روش می‌توان تأثیر پدیده‌ای خاص را بر متغیری همچون بیابان‌زایی تعیین نمود.

نسبت تصاویر[۲۷]

نسبت‌گیری تصویر یا نسبت‌گیری باند بسیار شبیه به تفریق تصویر می‌باشد و همگی از اشکال جبری آشکارسازی تغییر تصویر هستند. نسبت‌گیری تصویر به طور ساده اعداد رقومی سلول‌های تصویر اول را به اعداد رقومی سلول‌ها در تصویر دوم تقسیم می‌کند. در این تکنیک، دامنه نسبت‌های محاسبه شده از ۱/۲۵۵ تا ۲۵۵ می‌باشد، به طوری که پیکسل‌های بدون تغییرارزش ۱ را در تصویرتغییر دارند. مهم این است که چگونه تحلیل‌گر مرزهای آستانه‌ها را بین پیکسل های تغییر و بدون تغییر در هیستوگرام تصویر تغییر تعیین می‌کند.

آنالیز برداری تغییرات تصاویر

آنالیز برداری تغییرات یک روش رادیومتریک برای تجزیه و تحلیل و شناسایی تغییرات بوده و قادر است اطلاعات اساسی در ارتباط با میزان و نوع تغییرات ایجاد شده را ارائه دهد. از محاسن این تکنیک می‌توان به موارد :۱- همزمانی پردازش بر روی تمامی باندها ۲- عدم وجود خطاهای مکانی و طیفی ناشی از طبقه بندی تصاویر ۳- دارا بودن قابلیت آشکارسازی تغییرات اراضی و پوشش گیاهی ٤- ارائه اطلاعات بصورت دو مؤلفه برداری بمنظور تجزیه و تحلیل مناسب‌تر، اشاره نمود. نتیجه بکارگیری این تکنیک تولید دو مؤلفه بزرگی و جهت تغییرات می‌باشد که به ترتیب براساس محاسبه فاصله اقلیدسی هر یک از پیکسل‌های تصاویر دو زمان وزاویه ایجاد شده میان دو زمان پیکسل‌ها بدست می‌آیند.

بررسی مقایسه‌ای داده‌های چند سنجنده[۲۸]

بمنظور تأیید و تأکید بیشتر نتایج ارزیابی می‌توان از تصاویر چند سنجنده بجای یک سنجنده استفاده نمود تا قابلیت‌های آنها در امر ارزیابی و پایش مورد بررسی قرار گیرد.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی[۲۹]

تجزیه مؤلفه های اصلی یک تکنیک ریاضی برای کاهش ابعاد مجموعه داده هاست. چون تصاویر رقومی سنجش از دور عددی هستند، ابعاد آنها با استفاده از این روش قابل کاهش است.

در تصاویر سنجش از دور چند باندی، باندها متغیرهای اصلی بوده و ممکن است تا حد زیادی با هم همبستگی داشته باشند. بنابراین داده های این باندها می‌توانند با هم ترکیب شده و با استفاده از PCA تصاویر جدید و با همبستگی کمتری را بوجود آورند. علاوه براین PCA به عنوان یک روش آشکارسازی تغییرات نیز درسنجش از دور به کار می‌رود. تصاویری که بوسیله داده‌های رقومی تولید می‌شوند حاصل از باندهایی با طول موج های مختلفی هستند که اغلب حاوی اطلاعات یکسانی می باشند.تغییر شکل مؤلفه های اصلی تکنیکی است که به منظور کاهش اطلاعات تکراری موجود در تصاویر چند طیفی به کار می‌رود. تغییر شکل مؤلفه اصلی ممکن است برای بهبود عملیات پیش از تفسیر داده یا به عنوان یک طبقه‌بندی تصاویر روش پیش پردازش از طبقه‌بندی داده انجام گیرد. در حالت دوم، این تغییرشکل معمولاً کارایی محاسباتی فرایند طبقه بندی را افزایش می‌دهد زیرا به کاهش ابعاد پایگاه داده اصلی منجر می‌گردد.

مقایسه‌های پس از طبقه‌بندی[۳۰]

معروفترین روش آشکارسازی تغییرات است که به مقایسه مستقل نیاز داشته و تصاویر طبقه بندی شده تولید می‌کند. در این روش، تصاویر اصلی به صورت موضوعی یا به طریق دیگر طبقه بندی می‌شوند. این روش‌ها شامل روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، آشکارسازی تغییر نظارت شده، آشکارسازی تغییر نظارت نشده و آشکارسازی تغییر هیبرید می‌باشند. آشکارسازی تغییر پس از طبقه‌بندی اثر اختلاف اتمسفری و زیست محیطی بین تصاویر ورودی را به حداقل می‌رساند. این ویژگی‌ها و سادگی محاسباتی، آنالیز تغییر پس از طبقه‌بندی را بسیار کاربردی ساخته است و متداول‌ترین روش آشکارسازی تغییرات می‌باشد.

مقایسه مستقیم چند زمانه[۳۱]

قدرت تفکیک زمانی سنجنده‌ها این امکان را فراهم می‌آورد تا یک

پدیده مانند پوشش گیاهی را در یک یا چند بازه زمانی مورد بررسی تغییرات قرار دهیم که این عمل نیز از طریق تقسیم و نسبت گیری قابل حصول است. در نتیجه می‌توان افزایش یا کاهش کمیت و کیفیت آن پدیده را مطالعه نمود.

آنالیز ادغام طیفی[۳۲]

هر سنجنده از قابلیت تفکیک‌های چهار گانه زمینی، زمانی، طیفی و رادیومتری برخوردار است.ولی معمولاً همه قابلیت‌های مناسب ارزیابی در یک سنجنده موجود نبوده بلکه تمامی این قابلیت‌ها را بایستی در یک یا چند سنجنده دیگر مشاهده نمود. لازمه این کار ادغام تصاویر چند سنجنده بمنظور حصول نتایج بهتر است.

سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳۳]

بارزسازی تغییرات با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی شامل تلفیق روش GIS و سنجش از دور است.مزیت روش GIS قابلیت و توانایی آن برای تلفیق داده‌های منابع گوناگون برای کاربردهای بارزسازی تغییرات است. روش‌های بر مبنای GIS نسبت به روش‌های سنتی بارزسازی تغییرات مزایای بسیاری دارند. بنابراین توابع ابزارهای مناسبی برای پردازش داده‌های چندمنبعی فراهم آورده و در انجام آنالیزهای بارزسازی تغییرات با استفاده از داده‌های چند منبعی مؤثرند.

ب- استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری (شاخص‌های پوشش گیاهی، خاک، آب ، خشکسالی و...)

اساس ارزیابی بیابانزایی در سنجش از دور، بررسی تغییرات پدیده‌های سطحی مانند خاک،پوشش گیاهی وسایر پدیده‌های مرتبط است. به طور سنتی بازتاب طیفی پوشش گیاهی و خاک به عنوان مهم‌ترین متغیرهای مشخص سنجش از دوری، برای تشخیص وضعیت اکوسیستم‌های در معرض خطر تغییرات بیابانزایی، هستند*(علوی پناه، ۱۳۸۲)*. با توجه به اینکه درجات متفاوت بیابانزایی به وسیله پوشش گیاهی پراکنده مشخص و شناسایی می‌شوند، بهترین روش مطالعه بیابان‌ها، کسب برآوردهای صحیح از فراوانی پوشش گیاهی می‌باشد که تحت تأثیر عوامل زمینه مانند شاخ و برگ گیاهی و زیر لایه‌ها (زیر اشکوب) قرار نگرفته باشند. از طرف دیگر سطح خاک نیز می‌بایستی همانند پوشش گیاهی مورد توجه و دقت قرار گیرد. در حاشیه بیابان‌ها که مشخصه اصلی آنها تغییرپذیری زیاد بارندگی سالیانه نسبت به متوسط بارندگی دراز مدت می‌باشد، خصوصیات سطحی مانند تجمع آب، نفوذپذیری و آبشویی، شاخص هایی برای ارزیابی شرایط اکوسیستم های بیابانی می‌باشند.

بافت خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل برای تعادل آب می‌باشد چرا که بافت خاک، نفوذ و صعود مویینگی آب را کنترل می‌کند. در خاک‌های با بافت ریز (لومی) بارندگی به سختی نفوذ می‌کند و بنابراین در معرض هدر رفت سریع از طریق تبخیر قرار می‌گیرد. خاک های با بافت درشت تر (شنی یا زیر لایه‌های سنگی) اجازه می‌دهد که آب به سرعت به اعماق پایین‌تر نفوذ کند، جایی که به خوبی در برابر تبخیر پس از خشک شدن لایه‌های سطحی محافظت می‌گردند. از طرف دیگر، تقریباً تمامی آب نفوذ یافته در این خاک‌ها آماده استفاده گیاهان قرار می‌گیرند و تجمع نمک در خاک به دلیل کارآیی بیشتر آبشویی در پایین باقی می‌ماند. ارتباط میان اقلیم و شرایط زیست محیطی که ممکن است اهمیت اولیه را در مقیاس جهانی دارا باشد، هنگامی که عوامل محلی مانند توپوگرافی، سنگ‌شناسی و خصوصیات خاک، توزیع مجدد آب قابل دسترس برای رشد گیاهان را تعیین می‌نمایند، می‌تواند به عنوان یک مسئله و معضل بروز نماید *(زهتابیان، داوندی و همکاران و ۱۳۹۰)*.

بنابراین مطالعات مفید و مناسب سنجش از دوری باید بر ارزیابی ارتباط با خاک و پوشش گیاهی تمرکز یابد. همچنین شرایط لحظه‌ای سطح خاک که ممکن است فصلی یا سالیانه با بارندگی نوسان یابد، حالت پویایی سیستم را نشان می‌دهد. مشاهدات تکراری در دوره های زمانی طولانی مدت برای ارزیابی تغییرات مهم ضروری می‌باشد. در نتیجه مرور مطالعات گذشته می‌تواند به اندازه مطالعات دایمی تغییرات محیط زیستی سنجش از دوری مهم باشد. با توجه به اهمیت پوشش گیاهی،خاک وآب در استخراج شاخص‌های مربوط به ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان زایی،خصوصیات سنجش از دوری آنها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

شاخص‌های پوشش گیاهی[۳۴]

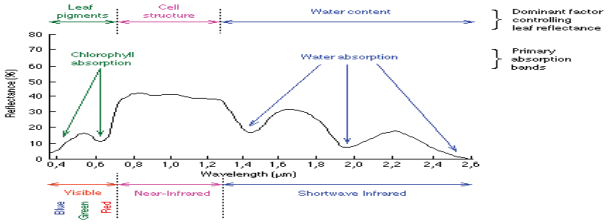
پوشش گیاهی مناطق بیابانی یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی و پایش تخریب و بیابانزایی می‌باشند چرا که کوچک‌ترین تغییرات در روند بیابانزایی عرصه‌ها از طریق بررسی پوشش گیاهی قابل پی‌گیری می‌باشد. پوشش گیاهی یک منطقه محل تلاقی اقلیم، خاک و سایر عوامل انسانی و غیره می‌باشد. پس استخراج اطلاعات تغییرات پوشش گیاهی می‌تواند بیانگر تغییرات بیابانزایی باشد.

شاخص‌های پوشش گیاهی نوع ویژه‌ای از شاخص‌های طیفی هستند که برای استخراج اطلاعات از داده‌های تصویری مورد استفاده قرار گرفته و اغلب اطلاعات را از کانال‌های طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج می‌کند. این شاخص‌ها کمیت‌های عددی هستند و رابطه‌ای با وضعیت پوشش گیاهی در هر نقطه از تصویر ماهواره‌ای دارند. شاخص‌های گیاهی غالباً بر اساس شواهد تجربی محاسبه می‌شوند. فرضیه اصلی در محاسبه آنها این است که از ترکیب داده‌های سنجش از دور در باندهای مختلف می‌توان اطلاعات مفیدی را درباره پوشش گیاهی یک منطقه بدست آورد. در گیاهان سه ناحیه طیفی وجود دارد:

– گیاهان سبز معمولاً در محدوده مرئی (٤٠٠– ٧٠٠ نانومتر) تیره هستند که این فرایند ناشی از جذب نور توسط رنگدانه‌های موجود در گیاهان سبز (کلروفیل، گزانتوفیل و ...) می‌باشد. اما در این محدوده یک افزایش ناگهانی انعکاس در طول موج حدود ۵۵۰ نانومتر دارند (نور سبز) به همین دلیل آنها معمولاً به رنگ سبز دیده می‌شوند.

– در محدوده بین ۷۰۰ الی ۱۳۰۰ نانومتر گیاهان روشن می‌باشند زیرا در این محدوده دارای انعکاس بالایی هستند.

–از ۱۳۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومترگیاهان سبز به دلیل جذب نور توسط آب موجود در برگ گیاهان سبز، سلولز، لیگنین و دیگر مواد موجود در این محدوده طیفی تیره هستند.



نگاره ۱. منحنی انعکاس طیفی گیاهان سبز

البته برای از بین بردن عوارضی مانند اثرات توپوگرافی وآلبدو بهتر است برای تشخیص پوشش‌های گیاهی از نسبت‌های باندی استفاده شود. اگر بخواهیم پوشش‌های گیاهی به صورت روشن ظاهر شوند نسبت باندهایی که در قلمرو ۷۰۰ الی ۱۳۰۰ نانومتر قرار گرفته به باندهایی که در قلمرو ٤۰۰ تا ۷۰۰ و یا ۱۳۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر قرار دارند مناسب‌ترند. در حالت اول نسبت مادون قرمز نزدیک NIR به IR می‌باشد و در واقع هدف این است باندهایی که در آنها پوشش گیاهی انعکاس بالایی دارد در صورت و باندهای که انعکاس کمی دارند در مخرج قرار گیرند. شاخص‌های پوشش گیاهی از نظر نحوه تقارب خطوط هم ارزش پوشش گیاهی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

الف- شاخص‌های مبتنی بر نسبت: که در آنها خطوط هم مقدار پوشش گیاهی در یک منطقه تقارب پیدا می‌کنند و شیب خط وصل کننده مبدا به نقطه پیکسل مورد نظر را اندازه گیری می‌نمایند مانند RVI , SAVI , NDVI

ب- شاخص‌های متعامد: که در آنها خطوط هم مقدار پوشش موازی با خط خاکی هستند و فاصله عمودی پیکسل را از خط خاک اندازه گیری می‌نمایند. مانند: DVI , PVI , WDVI.

معرفی شاخص‌های پوشش گیاهی

شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده[۳۰](NDVI): معروف‌ترین و پرکاربرد ترین شاخص پوشش گیاهی می‌باشد که بوسیله Rouse et al ۱۹٦۷ طرح شد. از نظر تئوریکی مقدار این شاخص در محدوده ۱ + تا ۱- در تغییر است. مقدار این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم بسوی ۱ میل می‌کند و بر عکس ابرها، برف و آب ارزش منفی تولید می‌کنند. سنگ و خاک بایر هم مقادیر کوچک مثبت و یا منفی نزدیک به صفر دارند. فرمول عمومی آن:

NDVI = NIR – RED / NIR + RED

این شاخص بدلیل اینکه مبتنی بر میزان تراکم پوشش گیاهی سبز می‌باشد از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی و پایش میزان تخریب و بیابان‌زایی است چرا که شدت تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در ارتباط مستقیم با کمیت و کیفیت پوشش گیاهی است.

شاخص پوشش گیاهی درصد مادون قرمز[۳۶](IPVI): برای اولین بار توسط Crippen (۱۹۹۰) مطرح شد. او دریافت که کسر نمودن انعکاس باند قرمز در صورت کسر NDVI نامناسب است و این شاخص را برای بهبود سرعت محاسبات پیشنهاد کرد. این شاخص عدم تجانس مفهومی ارزش‌های منفی را برای شاخص پوشش گیاهی از بین برده است.فرمول عمومی آن:

IPVI = NIR / NIR + RED

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی[۳۷](DVI) : این شاخص توسط Lillesand and Kiefer (۱۹۸۷) مطرح شد. این شاخص از کسر کردن مقادیر انعکاس باند قرمز از باند مادون قرمز بدست می‌آید. فرمول عمومی آن:

DVI = NIR – RED

با توجه به منحنی بازتاب‌های پوشش‌های عمده زمین مقدار این شاخص برای پوشش گیاهی بیشتر بوده در حالی که برای آب منفی و برای خاک و سنگ مقدار آن نزدیک به صفر است.

شاخص متعامد پوشش گیاهی[۳۸](PVI): برای اولین بار توسط Richardson & Wigand (۱۹۷۷) ارائه شد. این شاخص را می‌توان یک حالت عمومی شاخص DVI دانست که امکان وجود شیب‌های مختلف را برای خط خاک فراهم می‌کند. این شاخص نسبت به تغییرات اتمسفری کاملاً حساس است و فرمول آن به صورت زیر می‌باشد:$PVI = \sin(\alpha)\,NIR - \cos(\alpha)\,RED$ که α برابر زاویه بین خط خاکی و محور NIR است.

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی وزن‌دار شده[۳۹](WDVI): توسط Clevers (۱۹۸۸) ارائه شد. این شاخص نسخه خلاصه شده ای از شاخص PVI است اما دارای دامنه نامحدود می‌باشد. همانند PVI ، خیلی حساس به تغییرات اتمسفری است و معادله آن به این صورت است :$WDVI = NIR - S * RED$ که S = شیب خط خاکی است.

شاخص‌ها برای به حداقل رسانیدن خط خاکی

شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک[٤۰] (SAVI): برای اولین بار توسط Huete (۱۹۸۸) ارائه شد. این شاخص سعی دارد یک شاخص دورگه بین شاخص‌های مبتنی بر نسبت و متعامد باشد. در نتیجه خطوط هم مقدار پوشش گیاهی موازی نیستند و در یک نقطه هم تقارب پیدا نمی‌کنند. بازسازی اولیه این شاخص براساس اندازه‌گیری‌هایی بود که بر روی تغییرات پنبه با خاک‌های زمینه سیاه و روشن انجام گرفت و فاکتور الحاقی L بوسیله اندازه گیری خطای معادل شاخص پوشش گیاهی در خاک‌های روشن و تیره محاسبه گردید.

$$SAVI = \frac{NIR-RED\,(1+L)}{NIR+RED+L}$$

L : فاکتور تصحیح بوده از صفر برای منطقه با پوشش گیاهی بالا تا ۱ برای مناطق با پوشش گیاهی خیلی کم تغییر می‌کند و برای مناطق با پوشش گیاهی متوسط ۰/۵ است. (۱ + L) در این فرمول باعث می‌شود که تغییرات شاخص پوشش گیاهی از ۱- تا ۱ + باشد و اگر فاکتور L به صفر برسد شاخص SAVI برابر با شاخص NDVI خواهد بود.

شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک تغییر یافته[٤۱](TSAVI): بوسیله Baret ,Gvyot (۱۹۹۱) ارائه شد.در این شاخص فرض بر این است که خط خاکی دارای شیب نا چیز و منقطع است. این شاخص شبیه به SAVI است با این تفاوت که L حذف شده است. پارامتر X به عنوان پارامتری که اثر خاک زمینه را به حداقل می‌رساند بکار برده شده است که مقدار آن را معمولاً ۰/۰۸ در نظر می‌گیرند. محل تلاقی خط هم سبزینگی معمولاً بین مبدأ و نقطه الحاقی که معمولاً در SDVI استفاده می‌شود(L = ۰/۵) می‌باشد.فرمول:

$$TSAVI = a(NIR - aR - b)/[R = a(NIR - b) + 0.08(1+a^2)]$$

b: intercept خط خاکی a : شیب خط خاکی

جدول ۲ – مؤلفین، نام و رابطه ریاضی برخی از مهمترین شاخص‌های سنجش از دوری

Birth and Mc Vey, 1968	$SR=\frac{R_{NIR}}{R_{Red}}$	Simple Ratio Index	
Asner et al, 2004	$SR=\frac{\rho_{800}}{\rho_{680}}$	Simple Ratio Index	
Datt, 1999	$mSR_{705}=(\rho_{750}-\rho_{445})/(\rho_{705}-\rho_{445})$	Modified Red Edge	
Merton and Huntington s., 1999	$RVSI=\frac{R714nm+R752nm}{2}-R733nm$	Red-edge vegetation stress Index	
Gamon and Surfus, 1999	$RGratio=\frac{\sum_{i=600}^{699}R_i}{\sum_{i=500}^{599}R_i}$	Red Green RatioIndex	
Jensen, 2005	$DVI=NIR-Red$	Difference Vegetation Index	
Jensen, 2005	$RDVI=\frac{R_{800}-R_{670}}{\sqrt{R_{800}+R_{670}}}$	Ratio Difference Vegetation Index	
Gamon et al, 1992	$PRI=\frac{\rho_{531}-\rho_{570}}{\rho_{531}+\rho_{570}}$	Photochemical Reflectance Index	
Curran et al, 1995	REP= Wavelength of maximum derivative of reflectance from 690 to 740 nm	Red Edge Position Index	
Jensen, 2005	$IPVI=\frac{NIR}{NIR+Red}$	Vegetation condition index	
Merton, 1998	$RVSI=[(\rho_{714}+\rho_{752})/2]-\rho_{733}$	Perpendicular Vegetation Index	
Kogan, 1990	$VCI=\frac{NDVI_i-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}$	Weighted Difference Vegetation Index	
Richardson and Wiegand, 1977	$PVI=\sin(\alpha)NIR-\cos(\alpha)Red$	Soil Adjusted Vegetation Index	
Clevers, 1988	$WDVI=NIR-\alpha.Red$	Vegetation condition index	Greenness Indices with Correction of Background soil
Hote, 1988	$SAVI=\frac{(1+L)(NIR-Red)}{(NIR+Red+L)}$	Perpendicular Vegetation Index	
Hote, 1988 Qi et al., 1994	$SAVI=\frac{(1+L)(R_{800}-R_{670})}{(R_{800}+R_{670}+L)}$	Hyper-Spectral Perpendicular Vegetation Index	
Qi et al., 1994	$MSAVI=\frac{(1+L)(NIR-Red)}{(NIR+Red+L)}$	Modified Soil Adjusted Vegetation Index	
	$L=1-2.S.NDVIWDVI$		
Qi et al. 1994	$MSAVI2=1/2\left[2(NIR+1)-\sqrt{(2NIR+1)-8(NIR-Red)}\right]$	Modified Soil Adjusted Vegetation Index2	
Qi et al. 1994	$MSAVI=1/2\left[2(R_{800}+1)-\sqrt{(2R_{800}+1)-8(R_{800}-R_{670})}\right]$	Hyper-Spectra Modified Soil Adjusted Vegetation Index	
Baret et al., 1991	$TSAVI=\frac{a+(NIR-a\times Red-b)}{a.NIR+Red-a.b+X(1-a^2)}$	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	
Rondeaux et al., 1996	$OSAVI=(1+0.16)(R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16)$	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	
Kaufman & Tanre, 1992; Huete et al., 1994	$SARVI=\frac{p^*_{nir}-p^*_{rb}}{p^*_{nir}+p^*_{rb}+L}$	Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index	
Huete and Justice, 1999	$EVI=\frac{p^*_{nir}-p^*_{red}}{p^*_{nir}+c_1p^*_{red}-c_2p^*_{blue}+L}(1+L)$	Enhanced Vegetation Index	
Asner et al., 2004	$\left[\int_{\rho=1100}^{1230}\max(\rho1100-1230)-\rho\right]\rho=1100$ $\left[\int_{\rho=930}^{1040}\max(\rho930-1040)-\rho\right]\times\rho=930$	Spectroscopic Water Absorption Metric	
Penuelas et al., 1997	$WBI=\frac{\rho900}{\rho970}$	Water Band Index	Indices of Vegetation Water Content
Gao, 1996	$NDWI=\frac{\rho857-\rho1241}{\rho857+\rho1241}$	Normalized Difference Water Index	
Hunt and Rock, 1989	$MSI=\frac{\rho1599}{\rho819}$	Moisture Stress Index	
Hardisky et al., 1983	$NDII=\frac{\rho819-\rho1649}{\rho819+\rho1649}$	Normalized Difference Infrared Index	
Hunt et al., 1987	$LWCI=\frac{-\log[1-(NIR_{TM4}-MidIR_{TM5})]}{-\log[1-NIR_{TM4}-MidIR_{TM5})]}$	Leaf Relative Water Content Index	
Serrano et al., 2002	$NDNI=\frac{\log(1/\rho_{1510})-\log(1/\rho_{1680})}{\log(1/\rho_{1510})+\log(1/\rho_{1680})}$	Normalized Difference Nitrogen Index	Nitrogen Indices
Daniel et al, 2002	$NSI=\frac{NDVI_{sample}}{NDVI_{ref}}$	N Deficiency Index	

شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک تجدید نظر شده[۲] (MSAVI): بوسیله Qietal (۱۹۹٤) ارائه شد. فاکتور تعدیل کننده L در شاخص SAVI به مقدار پوشش گیاهی مشاهده شده بستگی دارد. به عبارت دیگر برای محاسبه پوشش گیاهی، که خود برای نشان دادن مقدار پوشش گیاهی محاسبه می‌شود، باید از مقدار پوشش گیاهی اطلاع داشته باشیم. برای رفع این مشکل از شاخص دیگری به نام شاخص MSAVI استفاده می‌شود.فرمول:

$$MSAVI2 = 1/2 * ((2*(NIR+1)) - (((2*NIR)+1)^2 - 8(NIR-red))^{1/2}).$$

سایر شاخص‌ها: تاکنون شاخص‌های سنجش از دوری فراوانی در خصوص تعیین وضعیت پوشش گیاهی، پوشش گیاهی وخاک، میزان آب در پوشش گیاهی، مواد عالی خاک، رنگدانه‌های گیاهان، برآورد میزان محصول و خشکسالی و... استخراج گردیده است که در جدول۲، نام و رابطه ریاضی و مؤلفین مهمترین آنها آورده شده است.

نتیجه گیری

هدف کلی از انجام ارزیابی و پایش، کسب مجموعه اطلاعات مستمر و مقایسه میزان دسترسی به اهداف در سطوح مختلف مطالعه و نیز بررسی میزان دسترسی به اهداف است ***(Lal et al, 1997)***. فرایندی که در تخریب سرزمین و بیابان‌زایی رخ می‌دهد، تغییر خصوصیات پدیده‌های سطحی است. بدین مفهوم که با وقوع تخریب و بیابان‌زایی، شرایط شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پدیده‌ها تغییر می‌نماید. لذا در روش‌های مختلف ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی هدف آن است که بتوانیم این تغییرات را بمنظور بررسی‌های مختلف بصورت کمی و کیفی به تصویر بکشیم.تناظر این ویژگی‌ها با ویژگی‌های رو به گسترش کمی و کیفی فناوری‌های دریافت داده‌ها و تولید اطلاعات ماهواره‌ای، اهمیت جنبه‌های کاربردی تصاویر ماهواره‌ای در بررسی و مطالعه تخریب سرزمین را نمایان‌تر می‌نماید. تنوع بسیار زیاد انواع ماهواره‌های سنجش از دوری و قابلیت‌های فراوان بررسی تغییرات سطح زمین به کمک تکنیک‌های گوناگون نمایش کمی و کیفی تغییرات همراه با مزایای صرف وقت و هزینه کمتر و نیز پایش‌ها در مقاطع زمانی،سبب افزایش استقبال روزافزون بکارگیری روش‌های مبتنی بر سنجش از دور در ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی شده است. در حال حاضردغدغه اصلی پژوهشگران در این زمینه، بهبود روش‌های ارزیابی و حصول دقت‌های بیشتر می‌باشد ***(Puigdefabregas et al,2009)***.

روش‌هایی که در حال حاضر در ارزیابی تخریب سرزمین وجود دارد روش‌های مبتنی بر آشکارسازی تغییرات از طریق مدل‌های برآورد تخریب(GLASOD–LADA و ...) و نیز استفاده از روش‌های مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دوری (شامل ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی، خاک، آب) می‌باشد که به اختصار معرفی گردیدند. در حقیقت با بررسی این تغییرات در ابعاد مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتری می‌توان نسبت به تعیین میزان تخریب و بیابان‌زایی در دامنه‌های کیفی و کمی (بدون تغییر، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) مبادرت ورزید.

نتایج حاصل از بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی

برسیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابانزایی، اطلاعات صحیح‌تری را در اختیار مدیران و محققان مربوط در سطوح بین‌المللی، منطقه‌ای، ملی و محلی قرار می‌دهند. بدین مفهوم که اطلاعات حاصل از روش‌های سنجش از دوری بدلیل پویایی بیشتر، تطابق بیشتری با واقعیات زمینی دارد و قابلیت توصیه بیشتری را داراست(*درویشی بلورانی و همکاران،۱۳۹۰*). توجه به این نکته ضروری است که قبل از انجام هر گونه مطالعه کاربردی در زمینه تحلیل‌های مکانی ناشی از علوم سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابانزایی، دقت در درک اصول و مبانی وتفاوت موضوعات مورد مطالعه وضرورت داشتن آگاهی از علوم و دانش‌های پایه‌ای و نیزاطلاعات کافی از تکنیک‌ها در ارتباط با موضوع فوق از اهمیت حیاتی برخوردار است. برای حصول نتایج بهتر، موارد زیر توصیه می‌گردد:

– شناخت دقیق موضوع: در صورت عدم شناخت دقیق وصحیح موضوع، بکارگیری و توسعه یک کاربرد پیشرفته ازتحلیل مکانی در سیستم‌های پایش تخریب سرزمین و بیابانزایی امری غیرمحتمل و بسیار سخت خواهد بود. این دشواری در پدیده‌های زمینی و پویا بسیار بیشتر و نتایج غیر محتمل بیشتر خواهد بود.

– بررسی موارد کاربردی گذشته: توجه به این امر، موجب درک بهتر در قابلیت اصلاح تطبیق و توسعه روش‌های به کار برده شده برای موارد مشابه می‌باشد. انجام این امر احتمالاً منجربه خلق ایده‌های جدید و بهبود و توسعه روش‌های کنونی می‌گردد.

– بررسی دقیق قابلیت انجام تحقیقات و مطالعات کاربردی جدید با توجه به شرایط و امکانات سخت افزاری و نرم افزاری موجود.

– استفاده از روش‌های تحلیل مناسب. احتمال بروز انحراف ناشی از نحوه توزیع داده و پراکنش آن در چنین مطالعاتی همواره وجود دارد. انتخاب درست روش تحلیل آماری و مدل سازی در موفقیت و اعتبار مطالعه نقش اساسی خواهد داشت. هرگونه پیشنهاد برای بکارگیری تکنیک‌های تحلیل مکانی در علوم منابع طبیعی وبیابانی می‌بایست توأم با تأمل درقابلیت‌های انجام آن باشد. مواردی دارای اهمیت بیشتری هستند که می‌توانند دارای کاربردهای فراوان باشند.

– تکنیک‌های تحلیل مکانی برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی(آنالیز برداری تغییرات تصاویر،بررسی‌های چند زمانه تصاویر) تولید اطلاعات با ارزشی برای ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان زایی می‌نمایند.

– تهیه نقشه‌های تفاوت‌ها بر اساس تلفیق موارد اندازه گیری شده

منابع و مآخذ

۱– احمدی، حسن (۱۳۷۷)، ژئومورفولوژی کاربردی؛ جلد ۲، بیابان– فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران.

۲– اطلس ملی بیابانزایی(۱۳۸۹)،مرکز همزیستی با بیابان دانشگاه تهران.

۳– اکبری، مرتضی و همکاران(۱۳۸٦)، ارزیابی و طبقه‌بندی بیابانزایی با فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه خشک شمال اصفهان)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران.

٤– جعفری، محمد (۱۳۸۳)، طرح تدوین شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های ارزیابی «بیابانزایی در ایران» بخش خاک؛ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۵– درویشی بلورانی، علی و همکاران(۱۳۹۰)، بررسی کاربردهای علوم و فن آوری‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در نظام سلامت (قسمت اول: مروری بر منابع خارجی)، مجله پژوهشی حکیم.

٦– زبیری، محمود و علی رضا مجد(۱۳۷۷)، آشنایی با سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران.

۷– زهتابیان، غلامرضا و علی کبر داوندی وهمکاران (۱۳۹۰)، بیابان‌ها و زیست بوم‌های بیابانی، انتشارات دانشگاه تهران.

۸– سفیانیان، علیرضا (۱۳۸۸)، بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳٦٦ تا ۱۳۷۷، مجله علوم آب و خاک، سال سیزدهم، شماره چهل و نهم.

۹– صادقی روش، محمدحسن(۱۳۹۰)، بررسی آسیب‌پذیری زیست محیطی EV منطقه خضرآباد یزد نسبت به خطر بیابانزایی، دومین همایش ملی مقابله با بیابانزایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران.

۱۰– علوی پناه،سید کاظم(۱۳۸۲)، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۱– عبدی‌نژاد، غلامعباس و داود ناطقی(۱۳۸۹)، بیابان و مقابله با بیابانزایی در ایران، نشر پونه.

۱۲– فتاحی، محمدمهدی(۱۳۸۸)، بررسی روند بیابانزایی در استان قم با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تأکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب، تحقیقات مرتع و بیابان ایران.

۱۳– مشکوه، محمد علی(۱۳۷۷)، روشی موقت برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و برنامه زیست ملل متحد)؛ ترجمه، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

۱٤– مدنیان، ملیحه سادات (۱۳۸۸)، مروری بر برخی از روش‌های آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور، مجله سپهر، دوره بیست و یکم، شماره هشتاد و دوم.

15- Barel F and Jacuemoud S, (1994) modelling canopy spectural properties to retrieve biophysical and biochemical chavacteristies, remote sensing, val 4, kluwewer, Dordrecht, pp 145-167 .

16- B. Lacaze(2004), Remotely-sensed optical and thermal indicators of land degradation, Proceedings of the 24th EARSeL Symposium, 25-27 May 2004, Dubrovnik, Croatia.

17- Dregne, H.E. and Chou, N.T. 1994. Global desertification dimensions and costs. In: Degradation and Restoration of Arid Lands, ed. H.E. Dregne. Lubbock: Texas Technical University.

18- Elvidge CD (1990) visible and near infrared reflectance characteristics of dryy plant materials. Inty remote sensing 11:1775-1795

19- E. Symeonakis and N. Drake(2004), Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa, International Journal of Remote Sensing Volume 25, Issue 3

20- Graetz RD (1990), remote sensing of terrestrial ecosystem structure: an ecologist's pragmatic view,Berlin Hiedelberg New york ,pp 5-30

Hamed Shafie et al (2011), RS-based Assessment Of Vegetation Cover Changes In Sistan Plain

17- Food and Agriculture Organiztion
18-United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
19-World Meteorological Organiztion
20-Global Assessment of Human-induced Soil Degradation
21-Mediterranean Desertification and Land Use
22-Environmentally Sensitive Areas
23-Iranian Classification of Desertification
24-Image Differencing
25-Vegetation Indices Differencing
26-Image Regression
27-Image Ratio
28-Multisensor Image Fusion
29-Principal Component Analysis
30-Post Classification Analysis
31-Multi Temporal Analysis
32-Spectral Mixture Analysis (SMA)
33-Geographic Information System
34-Vegetation Indices
35-Normalized Difference Vegetation Index
36-Infrared Percetage Vegetation Index
37-Divergence Vegetation Index
38-Perpendicular Vegetation Index
39-Weighted Difference Vegetation Index
40-Soil Adjusted Vegetation Index
41-Transformed SAVI
42-Modified SAVI

21- H. E. Dregne(2000), Desertification Assessment And Control, International Center for Arid and Semiarid Land Studies
22- Hill j and peter D(eds)(1996),The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the mediteranean basin.
23- Hill j and schutt B (2000) ,The use of earh observation satellite for mapping complex patterns of erosion and sability in dry mediterranean ecosystems,remoe sensing environment.
24- Hill, J.; Jarmer, T.; Udelhoven, T. & Stellmes, M. (2006): Remote sensing and geomatics applications for desertification and land degradation monitoring and ...
25- Ismat M. El Hassan(2004), Desertification Monitoring Using Remote Sensing Technology, International Conf. on Water Resources & Arid Environment.
26- Juan Puigdefabregas et al(2009), Ecosystemic Approaches To Land Degradation, Advances in studies on desertification.
27- Lal, R., Blum, W.E.H., Valentin, C. and Stewart, B.A., eds. 1997. Methods for Assessment of Land Degradation. Boca Raton: CRC.
28- Mainguet M (1994),Desertification natural background and human mismanagement,nd edn,springer,berlin Heiddelberg New york.
29- Nasir M. Khan a,*, Victor V. Rastoskuev b,Y. Sato a, S. Shiozawa a(2005), Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators Pickup G and Chewings VH(1988),Forecasting patterns of soil erosion in aridlands from landsat MSS data,Int J remote sensing 9.
30- Smith MO,Ustin SL Adams JB Gillespie AR(1990),Vegetation in deserts I :a regional measure of abundance from multispectral images,remote sensing environment 32 :1-26.
31- S. Sommer et al(2011) , Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales, Land Degradation & Development, Volume 22, Issue 2, pages 184–197, March/April 2011.
32- Torrion Jessica A(2002),land degradation detection,mapping and monitoring in the Lake Naivasha Basin,Kenya,ITC master of science thesis.
33- Jabbar M.R. and X. Chen, 2006 Land degradation assessment with the aid of geo-information techniques. Earth Surface Processes and Landforms

پی‌نوشت

1-United Nations Convention of Combating Desertification
2- Remote Sensing
3-Geographic Information System
4-Global Positioning System
5-Monitoring
6-Evaluation
7-Land
8-Desert
9-United Nations Environment Program
10-Land Degradation
11-Desertification
12-Remote Sensing
13-Geographic Information System
14-Geoinformatics
15-Global Positioning
16-Image Resolution