

ارزیابی شدت و دامنه وقوع بیابان‌زایی در سطح کشور با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat و تکنیک‌های تحلیل اختلاط طیفی در فاصله سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴

نعمت الله کریمی^{۱*} و سودابه نامداری^۲

*۱- نویسنده مسئول، استادیار، پژوهشکده منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران، پست الکترونیک: nehmatkarimi@gmail.com

۲- دکترای اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر امور بیابان، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۶

چکیده

در این تحقیق شدت و دامنه بیابان‌زایی ایران در دوره مطالعاتی ۱۳۶۳-۱۳۹۴ با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بررسی شد. برای استخراج نقشه بیابان‌زایی کشور از تکنیک‌های نوین سنجش از دوری تحت عنوان تحلیل اختلاط طیفی استفاده گردید. تحلیل اختلاط طیفی روشی است برای برآورد سهم پوشش‌های مختلف زمینی در هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای مختلط که از چند نوع پوشش زمینی تشکیل شده است. بدین منظور تغییرات پوشش‌های گیاهی، خاکی، آبی و شوره‌زارهای کل کشور مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست‌آمده در حدود ۲۲۷ هزار کیلومتر مربع از اراضی کشور در طول ۳۲ سال گذشته دچار پدیده بیابان‌زایی با شدت کم شده است. این در حالی است که سطح مناطقی که تحت تأثیر بیابان‌زایی با شدت زیاد قرار گرفته‌اند، در حدود ۳۳ هزار کیلومتر مربع و بهینه‌های آبی خشک شده در حدود ۵ هزار کیلومتر مربع بوده است. این موضوع نشان‌دهنده وقوع بیابان‌زایی با شدت‌های مختلف در ۱۵/۶ درصد از مساحت کشور است که سهم استان‌های جنوب‌غربی (شامل استان‌های ایلام، کرمانشاه، لرستان و خوزستان) و جنوبی (شامل استان‌های بوشهر، فارس و هرمزگان) بسیار بیشتر از سایر استان‌های کشور بوده است. این در حالی است که در استان‌های شرقی و جنوب‌شرقی کشور به دلیل غالب بودن اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی، کمترین شدت بیابان‌زایی مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، تصاویر Landsat، تحلیل اختلاط طیفی، تحلیل برداری تغییرات.

مقدمه

حدود یک سوم از سطح کره زمین را سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک تشکیل داده است. این مناطق شامل اراضی بیابانی و مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب اطراف آنها است که بیشتر در عرض‌های جغرافیایی میانه و به‌ویژه عرض‌های مدیترانه‌ای توسعه یافته‌اند (Abrisham, 2004).

ویژگی‌هایی همانند کمبود بارش، فصول خشک طولانی، دما و تبخیر- تعرق بالا منجر شده است تا مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین نسبت به تغییرات مختلف اقلیمی و انسانی بسیار حساس باشند و کوچک‌ترین تغییر در عوامل یادشده منجر به تخریب اراضی و پدیده بیابان‌زایی می‌گردد (Khosroshahi et al., 2011). اگرچه دو اصطلاح تخریب

بیابان‌زایی ۹۱۳ هکتار از اراضی کاشان را با استفاده از مدل مدالوس مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به شرایط منطقه هفت معیار آب زیرزمینی، پوشش زمین، کیفیت خاک، اقلیم، فرسایش آبی و بادی و مدیریت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان‌دهنده گسترش روند بیابان‌زایی در منطقه بود. در همان سال Abrisham به ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با تحلیل و بررسی روش‌های FAO و UNEP و MICD در منطقه فخرآباد- مهریز پرداخت. وی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه را بر اساس سه روش ICD، MICD و ICD و مدالوس تغییر یافته به‌طور جداگانه ارزیابی و نقشه مربوط به هریک از این روش‌ها را تهیه نمود و نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه بر اساس هریک از این روش‌ها ارائه گردید. Nateghi و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی شدت بیابان‌زایی با تکیه بر مسائل آب و خاک و پوشش گیاهی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه سگری اصفهان پرداختند. نقشه نهایی بیابان‌زایی منطقه مبین سرعت شدید و بسیار شدید روند بیابان‌زایی در منطقه بود.

Mombani و همکاران (۲۰۱۶) با تکیه بر معیارهای خاک و پوشش گیاهی با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی اقدام به مطالعه وضعیت بیابان‌زایی دشت عباس در منطقه نیمه‌خشک ایلام کردند. نتایج حاصل از ارزش‌دهی معیارهای مورد بررسی بیان‌کننده این است که معیار پوشش گیاهی با ارزش ۲/۶ مؤثرترین معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی بوده است. Yaghoobi و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل ایرانی ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی (IMDPA)، اقدام به ارزیابی صحت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی روند بیابان‌زایی و انتخاب مؤثرترین معیار بیابان‌زایی (آب یا اقلیم) در دشت دهلران نمودند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده کارایی بالای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی روند بیابان‌زایی است. در همان سال Zolfaghari و Khosravi با استفاده از روش ایرانی IMDPA، حساسیت اراضی منطقه سراوان به بیابان‌زایی را با در نظر گرفتن چهار معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی بررسی کردند. در این تحقیق پس از تعیین شدت بیابان‌زایی، معیار اقلیم با ارزش

اراضی (Land Degradation) و بیابان‌زایی (Desertification) همواره در کنار یکدیگر و بدون تفاوت در معنی استفاده می‌شوند، اما باید توجه داشت که دو اصطلاح مذکور تفاوت‌های قابل توجهی با یکدیگر دارند. اصطلاح بیابان‌زایی به معنی تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب است که در نتیجه عوامل مختلف اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به وجود آمده است (Ekhtesasi & Mohajeri, 1995). این در حالی است که تخریب اراضی عبارت است از: از بین رفتن و یا کاهش حاصلخیزی و بهره‌وری اراضی (واقعی و قابلیت) در نتیجه عوامل طبیعی و یا انسانی (Lal, 1995) با توجه به اینکه فرایند بیابان‌زایی یکی از پیچیده‌ترین فرایندهای جاری در سطح کره زمین محسوب می‌گردد، همچنین عوامل به وجود آورنده آن بسیار متنوع و گوناگون می‌باشد. در کنوانسیون‌های مختلف، کشورها ملزم به پایش و شناسایی آن و شناسایی عوامل به وجود آورنده آن شده‌اند (UNEP, 1993). اگرچه تاکنون مطالعه جامع و کاملی در مورد بیابان‌زایی در ایران انجام نشده است اما به صورت موردی تحقیقات مختصری در مورد ناهنجاری‌های اقلیمی و نحوه اثرگذاری آن بر اکوسیستم‌های مختلف و زندگی ساکنان مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شده است. در این تحقیقات ضمن بکارگیری روش‌های مختلف آشکارسازی بیابان‌زایی، به اتفاق نظر مشخص گردیده است که در طی چند سال اخیر به دلیل وقوع خشکسالی‌های پی در پی، اثرهای بیابان‌زایی بر بخش‌های مختلف کشور بسیار شدید بوده است. به‌عنوان مثال Gooya در سال ۲۰۰۳، به بررسی میزان تأثیر ۷ عامل اقلیم، سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک، هیدرولوژی، مدیریت و کاربری اراضی به‌منظور برآورد شدت بیابان‌زایی دشت حسین‌آباد میش‌مست قم پرداخت و مدل منطقه‌ای را برای تعیین شدت بیابان‌زایی این دشت ارائه داد. Jafari (۲۰۰۱) به‌منظور بررسی و تحلیل عوامل بیابان‌زایی در منطقه کاشان، با تلفیق دو روش فائو-یونپ و ICD، وضعیت فعلی بیابان‌زایی را به همراه عوامل انسانی و محیطی بالقوه در دشت کاشان مورد ارزیابی و زون‌بندی قرار داد. در همین منطقه، Khosravi (۲۰۰۴) شدت

تکنیک تحلیل اختلاف طیفی به منظور ارزیابی روند تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین (پوشش‌های گیاهی، آبی، نمکی و خاکی) استفاده گردید و ضمن شناسایی مناطق بیابان‌زایی شده، شدت و دامنه مکانی آن نیز مورد مطالعه قرار گرفت. مدل‌های تحلیل اختلاط طیفی کاربرد بسیار گوناگونی در زمینه مطالعه تغییرات کاربری اراضی، نحوه تغییر پوشش‌های گیاهی فصلی، پایش مراتع و جنگل‌های بازسازی شده، بیابان‌زایی، جنگل‌زدایی و جنگل‌زایی دارد (Röder *et al.*, 2008; Dawelbait & Morari, 2012). به‌عنوان مثال در سال ۲۰۱۲، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Landsat-TM و تحلیل اختلاط طیفی در دو بازه زمانی مختلف (در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۸) در سودان اقدام به پایش بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی شده است و محققان آن پس از مقایسه نتایج حاصل با داده‌ها و واقعیت‌های زمینی دریافت‌اند که نتایج این روش بسیار مطلوب بوده است (Dawelbait & Morari, 2012). همچنین در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۸، دوباره با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Landsat-TM و مدل تحلیل اختلاط طیفی، به بررسی نحوه اثرگذاری چرای دام در مراتع شمال یونان پرداخته‌اند. این مطالعه در فاصله سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ انجام شده است و به گفته محققان نتایج قابل قبولی نیز بدست آورده‌اند (Röder *et al.*, 2008).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران از نظر موقعیت جغرافیایی در نیمه جنوبی مناطق معتدله نیمکره شمالی قرار دارد. بخش اعظمی از کشور ما در کمربند مناطق خشک جهان واقع شده است. باوجود این تنوع اقلیمی در ایران بسیار زیاد است. در طبقه‌بندی دومارتن گسترش یافته، ۶۵ درصد عرصه کشور زیر پوشش اقلیم‌های خشک و ۲۰ درصد آن در دسته اقلیم‌های نیمه‌خشک و ۵ درصد هم جزو مناطق مدیترانه‌ای نیمه‌خشک نیمه‌مرطوب قرار دارد. بر این اساس ۹۰ درصد عرصه کشور ما در محدوده تعریف شده سرزمین‌های مستعد بیابان‌زایی قرار دارد. علاوه

عددی ۳/۱ بیشترین تأثیر و معیار خاک با ارزش عددی ۲/۳۵، کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه نشان داد. همچنین Kazemina و همکارانش (۲۰۱۷) با استفاده از مدل مدالوس شدت بیابان‌زایی اراضی مناطق غربی شهر اهواز را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق از داده‌های اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و کاربری اراضی منطقه به‌عنوان معیارهای مؤثر در تعیین شدت بیابان‌زایی استفاده شد. همان‌طور که بیان شد، برای مطالعه نحوه و شدت وقوع بیابان‌زایی روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی ابداع گردیده است. در واقع اگرچه روش‌های مختلفی برای مطالعه و پایش روند تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین وجود دارد اما با در نظر گرفتن ماهیت روند تغییرات سطح زمین، سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای به همراه تکنیک‌های مختلف تفسیر و پردازش آنها از جمله ایده‌آل‌ترین ابزارهای ممکن برای پایش وضعیت بیابان‌زایی محسوب می‌گردد (Dawelbait & Morari, 2012; Escadafal *et al.*, 2015). از جمله این مزایا می‌توان به اختصار به موارد زیر اشاره کرد: وجود آرشو غنی تصاویر ماهواره‌ای و امکان مطالعه درازمدت روند تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین همزمان با تغییر فرایندهای مختلف انسانی و اقلیمی (از دهه ۱۳۴۰ تاکنون)، پوشش مکانی قابل توجه تصاویر ماهواره‌ای و امکان مطالعه جامع و همزمان مناطق خشک و نیمه‌خشک، وجود تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی و فراطیفی و امکان مطالعه جامع پوشش‌های گیاهی، خاکی و آبی، هزینه کمتر پردازش و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای در مقایسه با سایر روش‌های دیگر (Farajzadeh & Karimi, 2013; Fahnestock *et al.*, 1996). با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی در کل کشور انجام نشده است و با توجه به مزایای شمرده شده برای فناوری سنجش از دور، در این پژوهش سعی گردیده است تا شدت و دامنه بیابان‌زایی در گستره کشور با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. در این راستا ضمن اخذ تصاویر ماهواره‌ای (تصاویر مربوط به ماهواره‌های Landsat-TM و Landsat-OLI) در فاصله سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴ (فاصله زمانی ۳۱ ساله)، از

ماهواره‌ای از یکسال به سال بعد خواهد شد. اما در پایان فصل تابستان به دلیل به حداقل رسیدن بارندگی‌ها از یکسو (به‌ویژه در کل کشور) و از بین رفتن پوشش‌های مرتعی موقتی و فصلی از سوی دیگر، بهترین شرایط برای ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی خواهد بود (Li et al., 2013).

داده‌های ماهواره Landsat-TM در هفت باند مختلف اقدام به تصویربرداری از سطح زمین می‌نمایند که در مجموع از لحاظ طیفی محدوده طول موج‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی را تحت پوشش خود قرار می‌دهند. استفاده از داده‌های ماهواره Landsat برای مطالعه پدیده‌های مختلف سطح زمین (به‌ویژه پوشش‌های گیاهی و پهنه‌های آبی) و همچنین روند تغییرات آنها توسط محققان مختلف توصیه شده است (Mousavi et al., 2006; Mombani et al., 2018). در مجموع این داده‌ها نسبت به سایر داده‌های ماهواره‌ای دیگر دارای مزایایی هستند که کاربردهای آنها در زمینه این مطالعه و همچنین مطالعات مشابه دیگر را روزافزون کرده است. از جمله این مزایا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: الف- محدوده تحت پوشش تصاویر ماهواره‌ای Landsat بسیار زیاد و قابل توجه است (با ابعاد 185×185 کیلومتر). اهمیت این مسئله به‌ویژه در این تحقیق از آنجایی مشخص می‌شود که منطقه مورد مطالعه بسیار وسیع می‌باشد و امکان مطالعه همزمان آنها با استفاده از سایر داده‌هایی که منطقه تحت پوشش آنها کم است فراهم نمی‌باشد؛ ب- آرشید داده‌های ماهواره Landsat نسبت به سایر ماهواره‌های موجود بسیار غنی‌تر است (از سال ۱۳۶۳ تاکنون) و همین امر امکان مطالعه طولانی‌مدت پوشش‌های مختلف سطح زمین را فراهم آورده است (در حدود ۳۲ سال در این تحقیق)؛ ج- قدرت تفکیک طیفی (تعداد باندهای تصویر) سنجنده‌های Landsat نسبت به بسیاری از سنجنده‌های همانند SPOT دیگر بیشتر است، همین نکته امکان اجرای مدل‌های مختلفی همانند تحلیل اختلاط طیفی و مطالعه پوشش‌های مختلف سطح زمین که نیازمند تعداد باندهایی بیشتر از تعداد پدیده‌های موجود هستند را فراهم کرده است. بنابراین در این تحقیق با توجه به مزایای داده‌های Landsat از آنها برای مطالعه روند تغییرات

بر آن اقلیم مرطوب کشور نیز تحت تأثیر پدیده بیابان‌زایی قرار دارد (Nateghi, 2008). در این تحقیق آشکارسازی و پهنه‌بندی نحوه وقوع بیابان‌زایی در کل محدوده ایران مورد مطالعه قرار گرفت.

داده‌های مورد استفاده

با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق مطالعه وضعیت پوشش‌های گیاهی، خاکی و آبی کل کشور و در نتیجه آشکارسازی روند بیابان‌زایی است، از این‌رو در دو بازه زمانی مختلف (سال ۱۳۶۳ و ۱۳۹۴) در مجموع اقدام به تهیه ۱۵۰ تصویر ماهواره Landsat (سنجنده‌های TM و OLI) گردید (۷۵ تصویر در هر دوره). با توجه به آنکه هدف تحقیق بررسی وضعیت پوشش‌های مختلف آبی و گیاهیست، زمان اخذ تصاویر باید در اواخر فصل رویش نباتات گیاهی و مرتعی باشد. بنابراین تصاویر مربوط به شهریورماه که به‌طورکلی در منطقه خاورمیانه پایان فصل رویشی محسوب می‌گردد، انتخاب گردید. باید توجه کرد که هدف از این تحقیق ارزیابی روند تغییرات پوشش‌های گیاهی (بیابان‌زایی) در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴ است و تهیه نقشه پوشش‌های اراضی زمین (نقشه‌های Land Cover) مورد نظر این تحقیق نیست. بدیهی است در صورتی که هدف تهیه پوشش اراضی زمین باشد، باید تصاویر در زمان اوج پوشش‌های گیاهی مرتعی (فصل بهار) اخذ گردند تا بتوان بین انواع اراضی مرتعی و بیابانی اختلاف قائل شد. اما در صورتی که هدف تهیه نقشه بیابان‌زایی (Desertification Map) باشد، نه تنها ضرورتی به استفاده از تصاویر فصل بهار نیست، بلکه لزوماً باید از تصاویری استفاده گردد که پوشش‌های گیاهی و مرتعی در پایان فصل رشد خود قرار داشته باشند (Dawelbait & Morari, 2012). بدیهی است در صورت استفاده از تصاویر مربوط به فصل بهار، پوشش‌های گیاهی مرتعی به شدت تحت تأثیر بارش‌های فصلی و موقتی قرار خواهند گرفت. به‌طوری‌که در بسیار از مناطق تنها پس از چند روز از وقوع بارش، می‌توان شاهد رشد برخی از گیاهان مرتعی موقتی بود و همین موضوع منجر به عدم امکان مقایسه تصاویر

عدم امکان مقایسه نتایج آنها در دو مقطع زمانی مختلف می‌گردد (Jacques *et al.*, 2014; Escadafal *et al.*, 2015). همچنین از دیگر عواملی که منجر به ناکارآمدی این‌گونه روش‌ها گردیده است، ماهیت پوشش‌های زمینی مناطق خشک و نیمه‌خشک است. زیرا عموماً پوشش‌های گیاهی در این گونه مناطق بسیار تنک و پراکنده است که با توجه به مقیاس مکانی (قدرت تفکیک زمینی) داده‌های ماهواره‌ای، امکان مطالعه مستقیم یک پوشش خاص را سلب می‌نماید (Jacques *et al.*, 2014; Farajzadeh and Karimi, 2013). در تحقیقات مختلف برای مطالعه پوشش‌های گیاهی و به‌ویژه مطالعه بیابان‌زایی از شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) و شاخص‌های مشابه با آن به کرات استفاده شده است (Imani *et al.*, 2018) و بعضاً نتایج قابل قبولی نیز از آنها حاصل گردیده است (Tucker, 1979; Tueller & Oleson, 1989; Dawelbait and Morari, 2012; Jacques *et al.*, 2014). لازم به یادآوری است که استفاده از شاخص‌های گیاهی (و یا شاخص‌های مشابه دیگر) و همچنین روش‌های مختلف طبقه‌بندی در مورد مطالعه پوشش‌های زمینی و به‌ویژه پوشش‌های گیاهی با مشکلات متعددی روبرو است که منجر به ناکارآمدی این روش‌ها در مورد مطالعه پدیده مذکور به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا شده است. یکی از اصلی‌ترین مشکلات در این راستا وجود پوشش‌های گیاهی پراکنده و غیرمتراکم در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Escadafal *et al.*, 2015; Farajzadeh & Karimi, 2013). به‌عبارتی در هریک از پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای Landsat که برابر با محدوده‌ای در حدود ۹۰۰ مترمربع است، انواع پوشش‌های مختلفی همانند پوشش‌های گیاهی، خاکی و غیره وجود دارد. بنابراین در این مناطق عملاً پیکسل‌های خالصی که تنها از یک پوشش خالص تشکیل شده باشد وجود ندارد (Dawelbait & Morari, 2012). از این رو مقدار بازتابندگی ثبت شده بیان‌کننده میانگین بازتابندگی تمام اجسام و پوشش‌های موجود در آن پیکسل است. در نتیجه پرواضح است که در چنین شرایطی روش‌های معمول و مرسوم

بیابان‌زایی در سطح کشور استفاده گردید. بر اساس مطالب عنوان شده، از داده‌های Landsat-TM در سال ۱۳۶۳ و Landsat-OLI در سال ۱۳۹۴ به‌منظور آشکارسازی پدیده بیابان‌زایی در کل کشور استفاده گردید. سنجنده TM ماهواره Landsat که در این تحقیق نیز از آن استفاده گردید برای جمع‌آوری داده‌ها از سه باند مرئی (آبی، سبز و قرمز) و یک باند مادون قرمز نزدیک و دو باند مادون قرمز میانی و یک باند در بخش‌های حرارتی استفاده می‌کند که مجموع آنها هفت باند می‌شود. قدرت تفکیک مکانی داده‌های این سنجنده برای تمام باندها به‌جز باند حرارتی (باند شش) ۳۰ متر و در باند حرارتی ۱۲۰ متر است. سیستم OLI (Operational Land Imager) شامل باندهای اپتیکی سنجنده‌های TM و ETM⁺ به‌علاوه سه باند جدید دیگر است که در ماهواره Landsat-8 مورد استفاده قرار گرفته است. این سه باند عبارت‌اند از: باند عمیق آبی (Deep Blue) برای مطالعات سواحل و همچنین ریزگردها، باند مادون قرمز کوتاه برای مطالعه ابرهای سیروس و باند ارزیابی کیفیت (Quality Assessment band).

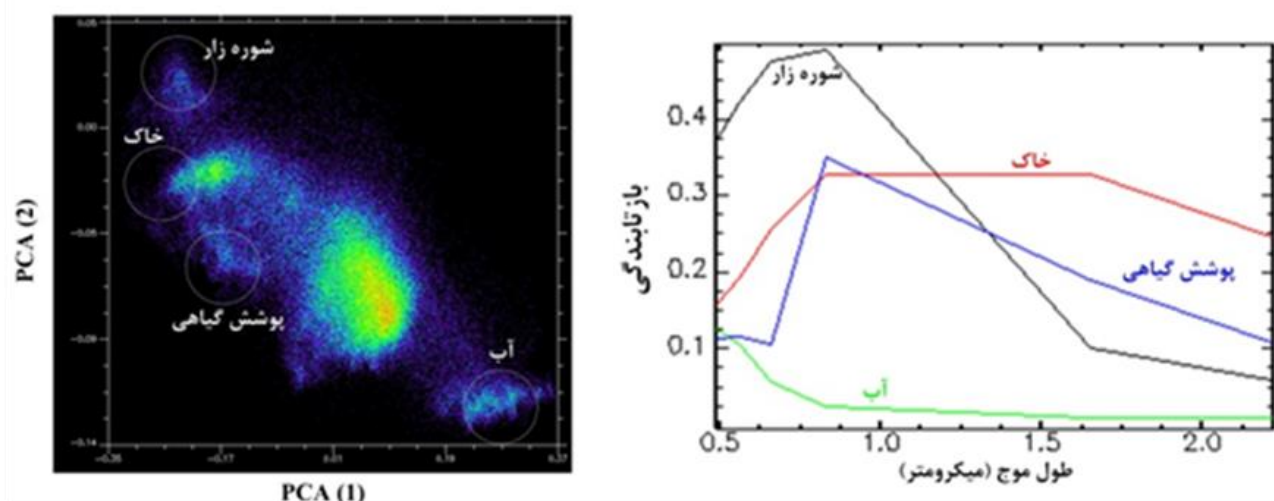
روش تحقیق

برای مطالعه روند تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین، اغلب روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (انواع روش‌های نظارت شده و نظارت نشده) مورد استفاده قرار گرفته است که در پاره‌ای از موارد نتایج قابل قبولی نیز از آنها حاصل شده است (Huete *et al.*, 1992; Escadafal *et al.*, 2015). اما کارایی روش‌های مذکور معمولاً تا زمانی است که مطالعه تنها بر روی یک تصویر ماهواره‌ای و تنها در یک مقطع زمانی متمرکز شده باشد و هدف تنها مطالعه وضعیت پوشش‌های گیاهی در یک مقطع زمانی ثابت باشد (همانند روش‌های مورد استفاده برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی). این در حالی است که در مواردی که هدف مقایسه وضعیت سطح زمین در دو مقطع زمانی مختلف باشد، عوامل مختلفی همانند شرایط اتمسفری گوناگون، نحوه تابش آفتاب و همچنین اثرهای ناشی از اعوجاجات خود سنجنده‌های ماهواره‌ای منجر به ناکارآمدی روش‌های معمول طبقه‌بندی و

(SMA) در چنین مواردی تعیین درصد و میزان مشارکت نسبی پدیده‌های مختلف (تحت عنوان Endmember) در هریک از پیکسل‌ها است که اگر تعدادی از این پدیده‌های غالب در هر منطقه شناسایی شوند با استفاده از این مدل‌ها می‌توان نسبت آنها را در هریک از پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای شناسایی کرد (Huete *et al.*, 1992; Adams & Smith, 1986; Smith & Ustin, 1990).

بنابراین اولین گام این تحقیق شناسایی و تشخیص پدیده‌های غالب (Endmembers) است که در هر منطقه‌ای وجود دارد تا بتوان با استفاده از آنها رفتار طیفی پدیده‌های غالب سطح زمین را ترسیم کرد. پیکسل‌های خالص از هریک از پوشش‌های سطح زمین و تشکیل کتابخانه طیفی محلی از مناطق مختلف کشور شناسایی شد تا بتوان منحنی بازتابندگی پوشش‌های گیاهی، آبی، خاکی و نمکی کشور را ترسیم نمود. برای شناسایی این گونه پوشش‌ها در هر منطقه‌ای روش‌های مختلفی طراحی شده است که در این تحقیق از روش شناسایی پیکسل‌های خالص با استفاده از نسبت مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید (Smith & Ustin, 1990). در این روش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین با بهره‌گیری از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) در هریک از عوارض موجود در سطح زمین تعدادی پیکسل خالص که تنها بیان‌کننده همان پدیده می‌باشند، انتخاب گردید. لازم به ذکر است که در این تحقیق چهار نوع کلاس مختلف شامل پوشش‌های گیاهی، آب، خاک و شوره‌زار به‌عنوان پدیده‌هایی که می‌توان از تغییرات آنها به روند بیابان‌زایی پی‌برد مورد تحلیل قرار گرفت. شکل ۱ نحوه شناسایی Endmemberها در منطقه اطراف دریاچه بختگان را نشان می‌دهد. هدف از اجرای این تحلیل تعیین کمیت ابعاد و همسایگی فضای اختلاط طیفی تصاویر است. با استفاده از PCA مقدار همبستگی فضایی کاهش می‌یابد و در نهایت خروجی‌های حاصل نشان‌دهنده مؤلفه‌های متعامدی می‌شوند که مقدار واریانس آنها کاهش یافته است.

طبقه‌بندی و یا شاخص‌های گیاهی موجود (همانند NDVI)، فاقد توانایی لازم برای شناسایی پوشش‌های گیاهی و مقایسه وضعیت و تراکم آنها در بازه‌های مختلف (برای آشکارسازی وقوع و یا عدم وقوع بیابان‌زایی) است و نیاز به استفاده از الگوریتم‌ها و مدل‌های جدید کاملاً احساس می‌گردد (Ray & Murray, 1996). از جمله جدیدترین و کاراترین مدل‌های موجود در این راستا مدل‌های تحلیل اختلاط طیفی (Spectral Mixture Analysis) است که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از آنها به کرات استفاده شده است (Ray & Murray, 1996; Dawelbait & Morari, 2012). تحلیل اختلاط طیفی (SMA) جزو قابل اعتمادترین تکنیک‌هایی است که با همت و تلاش محققان علوم سنجش از دوری و علوم زمینی توسعه داده شده است (Adams & Smith, 1986; Smith & Ustin, 1990; Escadafal *et al.*, 2015). اساس این گونه تکنیک‌ها از این واقعیت ناشی می‌شود که سطح زمین تقریباً هیچ‌گاه به صورت خالص به توسط یک پدیده مشخص پوشیده نخواهد شد (به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک) و همواره مخلوطی از انواع پدیده‌های مختلف است. بزرگ‌ترین چالش پیشروی محققان مختلف برای برآورد میزان و شدت بیابان‌زایی در گذر زمان وجود همین پیکسل‌های مخلوط در تصاویر ماهواره‌ای است (Dawelbait and Farajzadeh and Karimi, 2013). از این رو با توجه به شرایط اقلیمی ایران و غالب بودن پوشش‌های مرتعی و جنگلی غیرمترکم و پراکنده، در این تحقیق از این روش برای تعیین میزان تراکم پوشش‌های گیاهی در کنار پهنه‌های آبی برای ارزیابی بیابان‌زایی در کشور استفاده گردید. زمانی که یک پیکسل از دو نوع پوشش گیاهی و خاکی تشکیل شده باشد، مقدار بازتابندگی ثبت شده در آن پیکسل در طول موج‌های مختلف نه نشان‌دهنده پوشش گیاهی است و نه نشان‌دهنده خاک، بلکه ترکیبی از هر دو نوع پدیده می‌باشد که خود نیز بستگی به درصد تراکم هریک از آنها در داخل آن پیکسل مربوطه است. نقش الگوریتم‌های تحلیل اختلاط طیفی



شکل ۱- تحلیل مؤلفه‌های اصلی اجرا شده و نحوه انتخاب Endmemberها با توجه به نسبت مؤلفه‌های اول و دوم (منطقه اطراف دریاچه بختگان)

شده است، مقدار بازتابندگی هر پیکسل به صورت مجموعی (و یا به تعبیری میانگین وزنی) از بازتابندگی پوشش‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود.

در گام دوم پس از مشخص کردن Endmemberها و استخراج منحنی‌های طیفی هریک از آنها، مدل خطی تحلیل اختلاط طیفی (Linear Mixture Model) توسعه داده شد. در این مدل که معادلات ریاضی آن در رابطه ۱ نشان داده

$$\text{رابطه ۱) } DN = \sum F_i \times DN_i + E_i$$

$$\sum F_i = 1$$

$$RMSE = \sqrt{\sum E_i^2}$$

باند‌های سنجنده مورد استفاده باشد. در مجموع پس از برازش رابطه مذکور برای هر پیکسل مجموع نسبت‌های هریک از پدیده‌ها در آن پیکسل برابر با ۱ خواهد شد. بنابراین پرواضح است که در خروجی نهایی این مدل هر پدیده‌ای با توجه به مقدار مشارکت آن در تعیین بازتابندگی یک پیکسل عددی بین صفر تا یک به خود خواهد گرفت که صفر نشان‌دهنده عدم حضور آن پدیده و عدد یک نیز نشان‌دهنده آن است که آن پیکسل کاملاً به توسط آن پدیده پوشانیده شده است (Dawelbait & Morari, 2012). پس از استخراج نقشه‌های مربوط به درصد تراکم هریک از کلاس‌های آب، پوشش‌های

در رابطه ۱، DN نشان‌دهنده مقدار بازتابندگی ثبت شده برای هر پیکسل مشخص در یک طول موج ثابت است. F_i نشان‌دهنده نسبت فراوانی هریک از پوشش‌های موجود در هر پیکسل مشخص است. DN_i نشان‌دهنده مقدار بازتابندگی مشخص شده برای هر پیکسل (حاصل از پیکسل‌های خالص انتخاب شده برای هر پدیده) در آن طول موج خاص است. E_i نیز عبارت است از مقدار خطای برازش داده شده برای هر باند مشخص. لازم به ذکر است که رابطه مذکور برای هر باندی به صورت مجزا برازش داده می‌شود اما باید همواره توجه داشت که تعداد پدیده‌ها (Endmemberها) باید کمتر از تعداد

سال ۱۹۸۰ طراحی گردیده است. در این روش که در این تحقیق نیز به دلیل فراگیر بودن آن مورد استفاده قرار گرفت، علاوه بر اینکه شدت تغییرات تحلیل می‌شود، بردار تغییرات نیز استخراج می‌گردد که نشان‌دهنده جهت تغییرات (روند کاهشی یا افزایشی) در فاصله دو مقطع زمانی ۱ و ۲ است (Farajzadeh and Karimi, 2013 ; Malila, 1980). پس از استخراج بردار تغییرات پوشش‌های گیاهی، پهنه‌های آبی، خاکی شوره‌زارها با استفاده از نسبت تراکم‌های هریک از آنها در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۴، برای محاسبه شدت تغییرات، از فاصله اقلیدسی به عنوان معیاری از اندازه تغییرات انجام شده در هر پیکسل به شرح زیر استفاده شد (Dawelbait and Morari, 2012):

$$R = \sqrt{(y_b - y_a)^2 + (x_b - x_a)^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

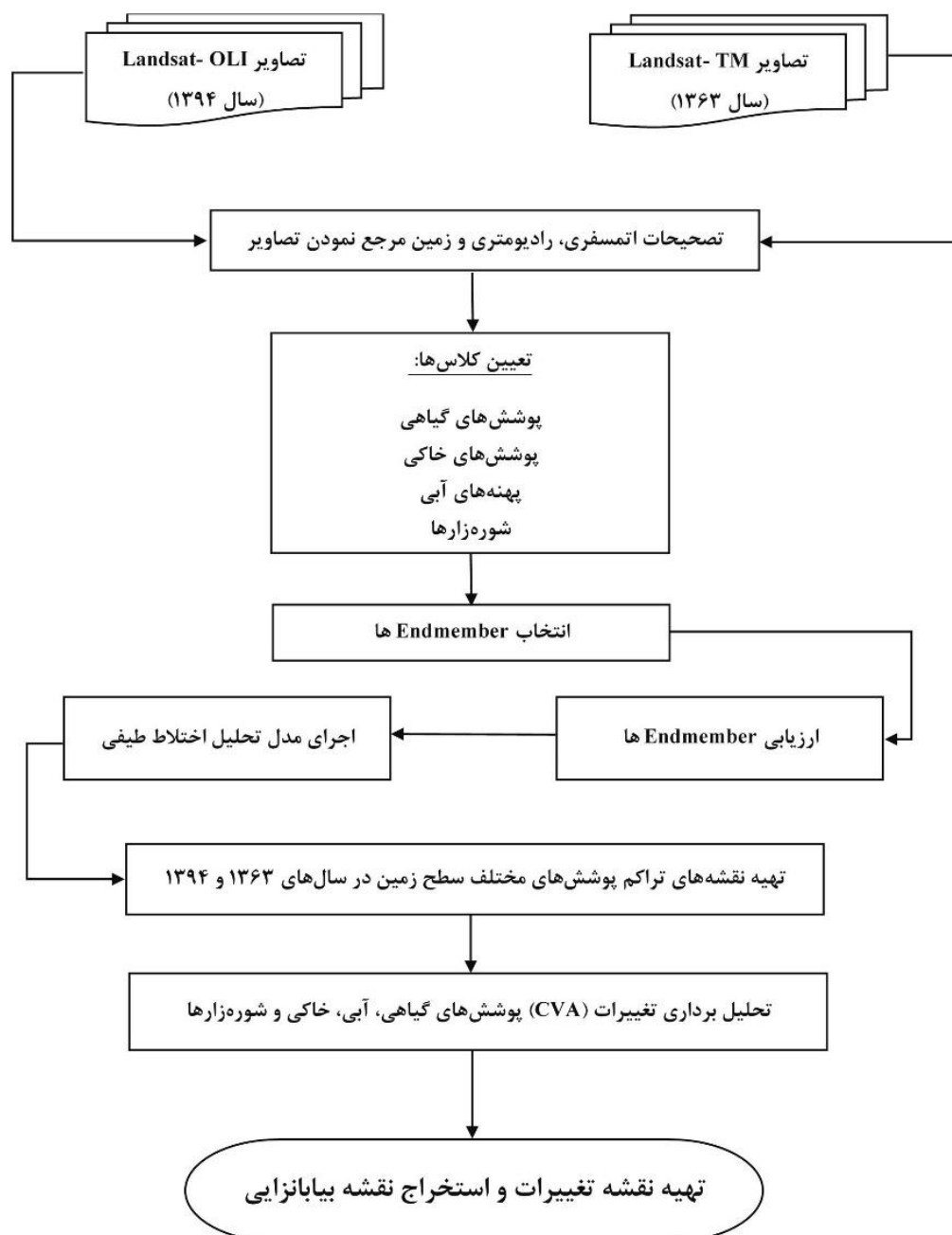
گردید. این گونه مناطق نشان‌دهنده ثابت بودن پوشش‌های گیاهی، خاکی، آبی و یا مناطق شوره‌زار است. در شکل ۲ مراحل انجام تحقیق به منظور دستیابی به نقشه بیابان‌زایی کشور به صورت فلوجارت نشان داده شده است. همچنین در شکل ۳ خروجی نهایی این تحقیق که همان نقشه بیابان‌زایی کشور است، نشان داده شده است.

نتایج

شکل ۳ نشان‌دهنده خروجی نهایی حاصل از اجرای مدل خطی تحلیل اختلاط طیفی و روند تغییرات بیابان‌زایی در کل کشور است. در مجموع بر اساس نتایج حاصل، تغییرات اتفاق افتاده را می‌توان در ۵ دسته طبقه‌بندی کرد. این مناطق عبارت‌اند از: مناطق بدون تغییر، دریاچه‌های خشک شده (کاهش پهنه‌های آبی)، بیابان‌زایی با شدت زیاد، بیابان‌زایی با شدت کم و در نهایت مناطق بهبود یافته (بیابان‌زدایی شده). در ادامه در مورد هریک از موارد نام برده شده و مصادیق آنها توضیحات مختصری ارائه می‌گردد.

گیاهی، خاک و اراضی نمکی در دو دوره ۱۳۶۳ و ۱۳۹۴، سومین گام استخراج نقشه تغییرات هریک از پوشش‌ها تعیین شده است. برای استخراج نقشه تغییرات مذکور و در نهایت نقشه بیابان‌زایی، روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان آنها را به دو دسته کلی طبقه‌بندی کرد. دسته اول عبارت است از: تحلیل مستقیم که در آن بطور مستقیم نسبت هریک از کلاس‌های استخراج شده در دو بازه زمانی مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد و دسته دوم نیز عبارت است از: تجزیه و تحلیل برداری تغییرات (Change Vector Analysis (CVA)). تحلیل‌های برداری یکی از کارآمدترین روش‌های موجود برای آشکارسازی تغییرات انجام شده در پوشش‌های مختلف زمینی است. این روش اولین بار توسط Malila در

در رابطه ۲: $R =$ فاصله اقلیدسی، $y_a =$ درصد پوشش‌های خاکی در هر پیکسل در زمان ۲؛ $y_b =$ درصد پوشش‌های خاکی در هر پیکسل در زمان ۱؛ $x_a =$ درصد پوشش‌های گیاهی در هر پیکسل در زمان ۲؛ $x_b =$ درصد پوشش‌های گیاهی در هر پیکسل در زمان ۱. پس از محاسبه فاصله اقلیدسی، بردار تغییرات به عنوان تابعی از زاویه در هریک از پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای در سال‌ها ۱۳۶۳ و ۱۳۹۴ محاسبه گردید. پس از محاسبه زاویه تغییرات، زوایای بین ۹۰ تا ۱۸۰ درجه نشان‌دهنده کاهش پوشش‌های گیاهی و به طبع آن افزایش پوشش خاک در هر پیکسل است. در نتیجه در چنین شرایطی می‌توان گفت که بیابان‌زایی انجام شده است. همچنین زوایای بین ۲۷۰ تا ۳۶۰ درجه نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی و کاهش درصد محتوای خاکی هر پیکسلی است؛ از این رو در این صورت می‌توان نتیجه گرفت که در چنین مواردی به جای بیابان‌زایی، افزایش پوشش گیاهی اتفاق افتاده است (Malila, 1980). همچنین در ادامه تمام مناطقی که در فاصله بین صفر تا ۹۰ و همچنین ۱۸۰ تا ۲۷۰ درجه قرار گرفت به عنوان مناطق عدم تغییر معرفی



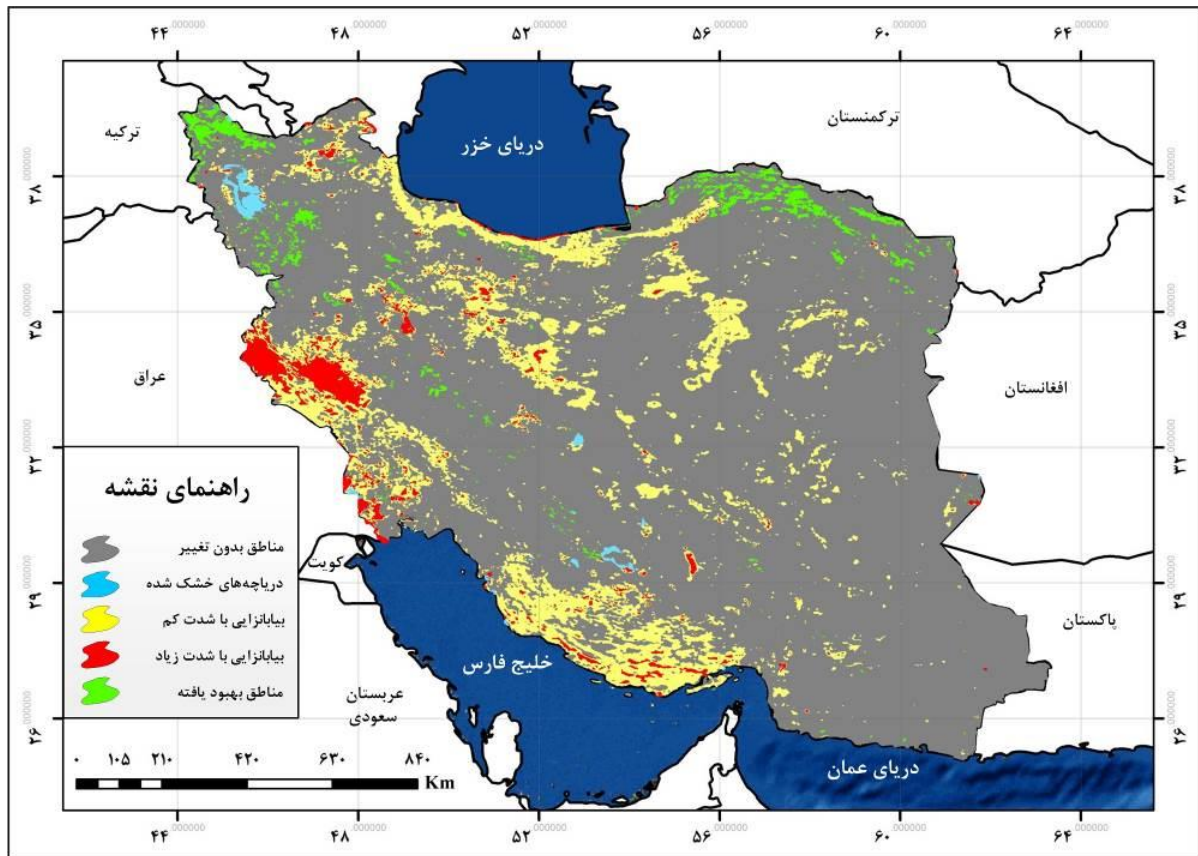
شکل ۲- مراحل انجام تحقیق و نحوه استخراج نقشه بیابانزایی

تغییرات اتفاق افتاده در سطح ایران خشک شدن دریاچه‌هاست. به عبارت دیگر در مجموع در حدود ۴۸۰ هزار هکتار از سطح دریاچه‌های کشور کاملاً خشک گردیده و تبدیل به شوره‌زارها و در پاره‌ای از موارد محدود تبدیل به زمین‌های کشاورزی شده است. در همین راستا می‌توان بیان

کاهش پهنه‌های آبی از جمله مصادیق بحرانی بودن شرایط هیدرولوژیکی و زیست محیطی مناطق مختلف کشور، خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌هاست. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، بر حسب نتایج حاصل در این تحقیق، یکی از محسوس‌ترین

نمکزار گردیده است. نحوه وقوع تغییرات دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور در شکل ۴ به صورت نمونه نشان داده شده است.

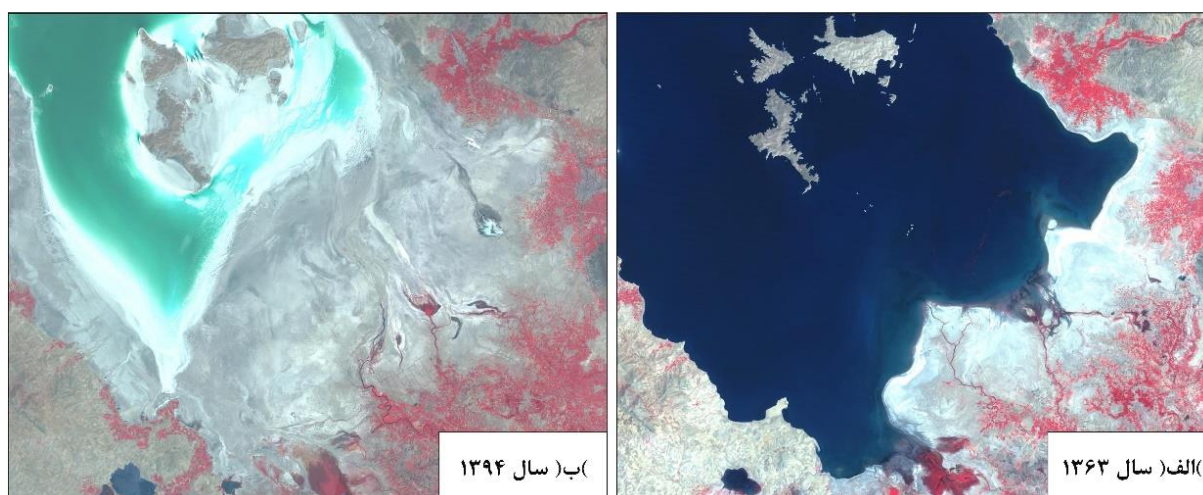
کرد که دریاچه‌هایی همانند بختگان، مهارلو و کافترا کاملاً خشک شده‌اند و در حدود ۹۰ درصد از سطح دریاچه‌هایی همانند طشک و یا ارومیه (در حدود ۶۰ درصد) تبدیل به



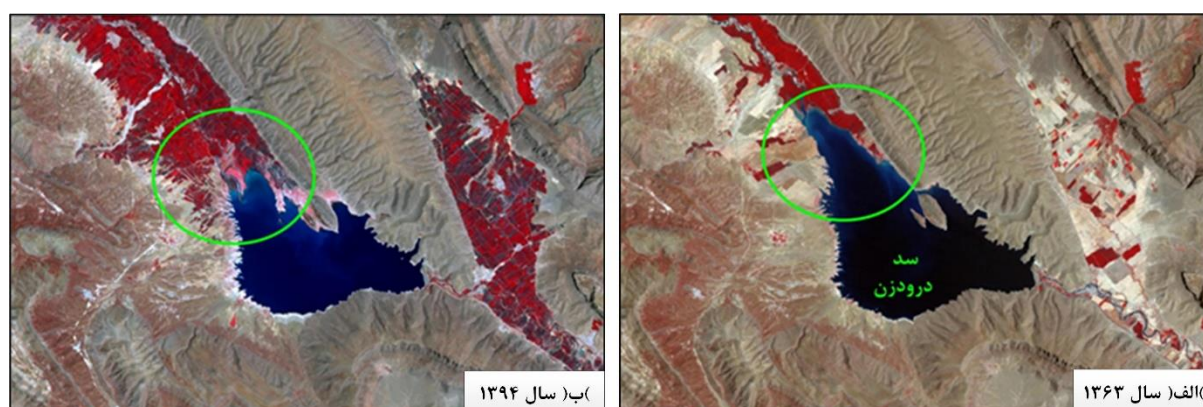
شکل ۳- نقشه بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی کشور در فاصله سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴

ورودی به سد درودزن (آب‌های سطحی و زیرزمینی)، از سطح تحت پوشش این دریاچه به مقدار قابل توجهی در سالیان اخیر کاسته شده است (در حدود ۱۵/۵ کیلومتر مربع) و بخش‌های بالادستی و ورودی این دریاچه به اراضی کشاورزی تغییر کاربری داده است. همین مسئله خود به خوبی نشان‌دهنده شدت بحرانی بودن منابع آبی در این منطقه از کشور و سایر مناطق مشابه دیگر است.

نکته قابل توجه در مورد نحوه خشک شدن دریاچه‌ها و پهنه‌های آبی کشور، محدود نبودن این روند کاهشی به دریاچه‌های طبیعی است. زیرا حتی بسیاری از پهنه‌های آبی مصنوعی که در اثر احداث سد‌ها ایجاد گردیده است نیز به تدریج در حال از بین رفتن هستند. به‌عنوان مثال همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، به دلیل کاهش جریانات



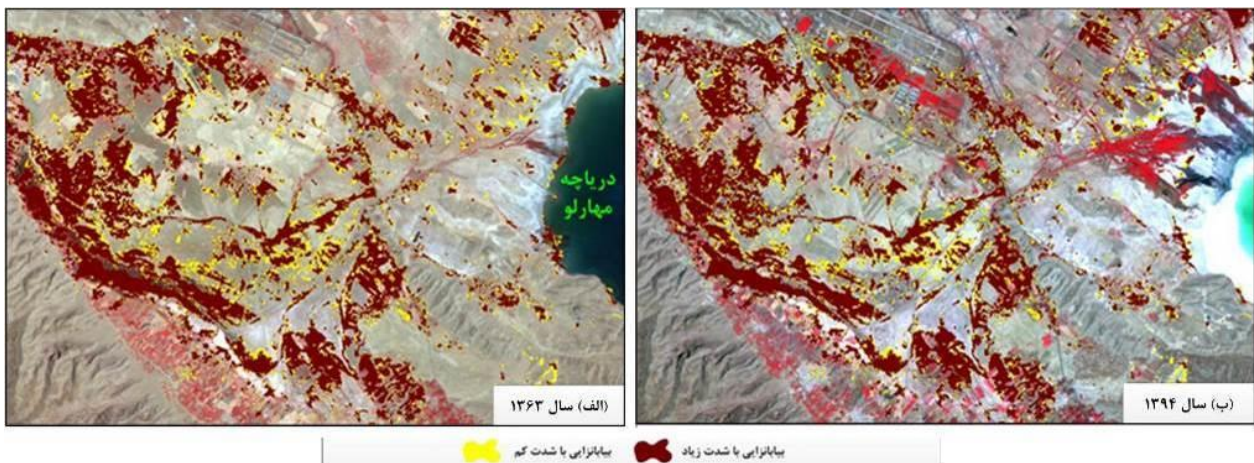
شکل ۴- روند تغییرات دریاچه ارومیه و نحوه خشک شدن آن در فاصله سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴



شکل ۵- کاهش سطح دریاچه سد درودزن در اثر کاهش جریان‌ات سطحی و زیرزمینی

شدت‌های مختلف است. نمونه‌ای از این گونه مناطق در اطراف شهرک‌های صنعتی شهر شیراز در استان فارس در شکل ۶ نشان داده شده است. در مورد نحوه وقوع بیابان‌زایی در کل کشور می‌توان بیان کرد که در حدود ۲۲۷ هزار و ۳۳۷ هزار کیلومتر مربع از اراضی کشور به ترتیب دچار بیابان‌زایی با شدت‌های کم و زیاد شده است. در مجموع می‌توان بیان کرد که حدود ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع از کشور دچار بیابان‌زایی با شدت‌های کم و زیاد شده است. اگرچه مساحت مناطق بیابان‌زایی با شدت کم در حدود ۶/۷ برابر مناطق با شدت زیاد است، اما باید بیان کرد که در آینده‌ای نزدیک همین مناطق با شدت کم به تدریج به مناطقی با شدت زیاد تبدیل خواهد شد.

بیابان‌زایی با شدت‌های زیاد و کم پس از خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها، بیابان‌زایی با شدت‌های مختلف مهمترین جلوه زوال زیست محیطی مناطق مختلف کشور است. اگرچه نمی‌توان الگوی مکانی خاصی را برای بیابان‌زایی ترسیم کرد، اما به‌عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت بر اساس نتایج بدست‌آمده مناطق با بیابان‌زایی شدید و کم عمدتاً در اطراف سکونت‌گاه‌ها و مراکز جمعیتی پراکنش یافته است. اما در مجموع می‌توان بیان کرد که استان‌های فارس، بوشهر، هرمزگان، خوزستان، ایلام، کرمانشاه و لرستان جزو بحرانی‌ترین مناطق کشور از لحاظ شدت و دامنه وقوع بیابان‌زایی است. در واقع این استان‌ها و مناطق اطراف آنها بزرگ‌ترین محل تجمع وقوع بیابان‌زایی با

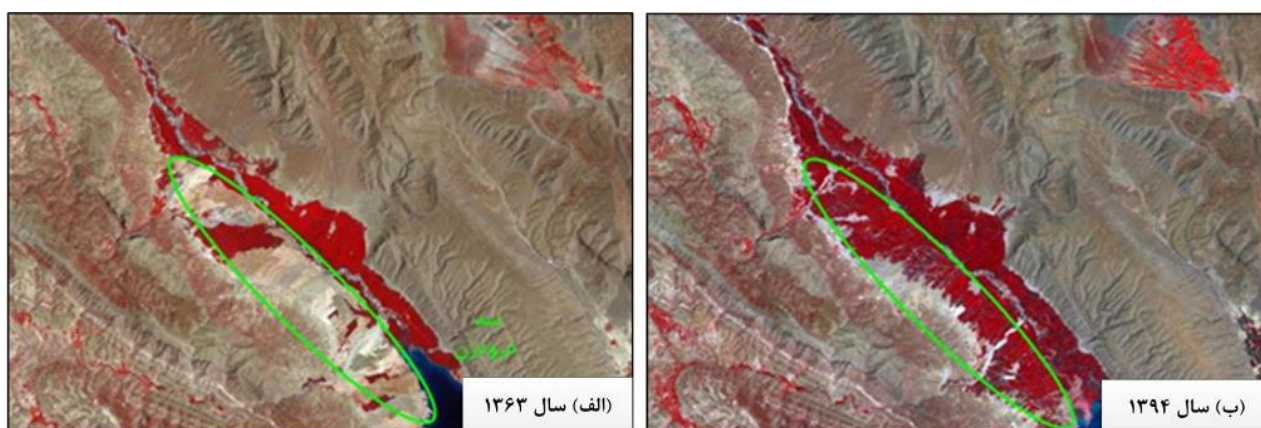


شکل ۶- شهرک‌های صنعتی واقع در جنوب شرقی شهر شیراز و نحوه وقوع بیابان‌زایی

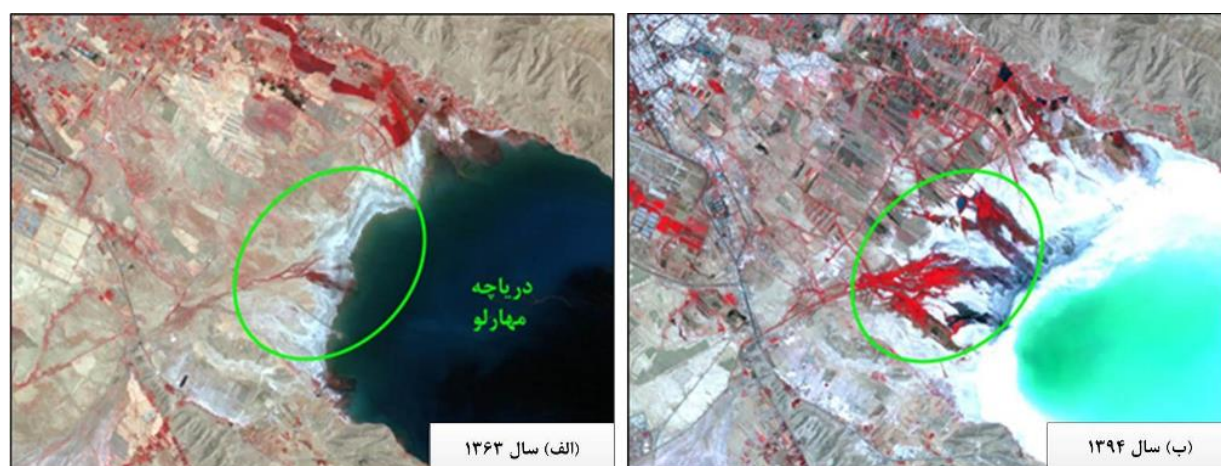
مناطق بهبود یافته

در مورد مناطق بهبود یافته و یا به اصطلاح دقیق‌تر آن «مناطق تحت تأثیر بیابان‌زدایی» باید بیان کرد که این گونه مناطق در اصلاح علمی خود به مناطقی اطلاق می‌گردد که در آنها با استفاده از اقدامات مختلف و به‌ویژه اقدامات بیولوژیکی با بیابان‌زایی مقابله شده است و از دیدگاه سنجش از دوری بهبود قابل محسوسی در وضعیت پوشش‌های گیاهی، خاکی و شوره‌زارها اتفاق افتاده باشد. اما متأسفانه در سطح کشور مواردی که نشان‌دهنده چنین بهبودی باشد مشاهده نمی‌گردد. اما نکته قابل تأمل در این مورد آن است که بخش‌های مختلف کشور دچار تغییرات وسیعی در قالب تغییرات کاربری اراضی شده است. بارزترین تغییر اتفاق افتاده در این مورد که در آن می‌توان نشانه‌هایی از افزایش پوشش‌های گیاهی (به‌مثابه مهمترین پارامتر بیابان‌زدایی) را مشاهده کرد، افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی است. به بیانی دیگر، در سطح کشور تغییر کاربری اراضی مختلف به زمین‌های کشاورزی بسیار مشهود است. این تغییر در بیشتر موارد با تغییر مراتع دارای خاک حاصلخیز و مناسب به زمین‌های کشاورزی بوده است و در پاره‌ای از موارد نیز تغییر تالاب‌ها و زمین‌های اطراف دریاچه‌های خشک شده به زمین‌های زراعی همراه بوده است. اما مرسوم‌ترین شکل این گونه

تغییرات در مناطقی انجام شده است که سیستم‌های انتقال آب و آبیاری توسعه پیدا کرده است. نمونه‌ای از این مناطق در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است سطح اراضی کشاورزی در این منطقه به شدت افزایش یافته است. از این‌رو به نظر می‌رسد تغییر کاربری اراضی و به‌ویژه افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از جمله مهمترین عوامل بروز بحران در این منطقه می‌باشد. نکته قابل تأمل در این مورد آن است که این تغییرات تنها مربوط به افزایش سطح زیر کشت می‌باشد، این در حالی است که اگر تغییر الگوهای کشت به این آمار نیز اضافه شود می‌توان بیشتر به نقش عوامل انسانی در وقوع این گونه تغییرات زیست محیطی پی برد. در موارد بسیار نادر و معدودی نیز می‌توان شواهد دیگری از افزایش پوشش‌های گیاهی یافت که مربوط به زمین‌های کشاورزی نمی‌گردد. در شکل ۸ نمونه‌ای از این موارد نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است، در بخش‌های غربی دریاچه مهارلو، میزان تراکم و وسعت نیزارها به شکل محسوسی در طول ۳۲ سال گذشته افزایش یافته است. این منطقه جزو معدود مناطقی است که بهبود وضعیت پوشش‌های گیاهی زمین مشاهده گردیده است و ارتباطی به افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی ندارد.



شکل ۷- نحوه افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در اطراف سد درودزن



شکل ۸- افزایش تالاب و نيزارهای اطراف دریاچه مهارلو

بحث

هدف از این تحقیق پهنه‌بندی شدت وقوع بیابان‌زایی در سطح کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سه دهه گذشته است. در این راستا از تصاویر ماهواره Landsat در دو بازه زمانی سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۴ استفاده گردید. به منظور شناسایی نحوه وقوع بیابان‌زایی نیز از تکنیک تحلیل اختلاط طیفی استفاده شد. بدین منظور وضعیت پوشش‌های گیاهی، خاکی و آبی کل کشور (به‌عنوان مظاهر وقوع بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی) با استفاده از ۱۵۰ تصویر ماهواره Landsat (سنجنده‌های TM و OLI) مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج بدست آمده نشان‌دهنده بحرانی بودن وضعیت بیابان‌زایی کشور است. زیرا در مجموع در حدود ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع

از سطح کشور دچار بیابان‌زایی شده است که سهم مناطق بیابان‌زایی با شدت زیاد در حدود ۳۳ هزار کیلومتر مربع بوده است. این بدان معنی است که در طول ۳۲ سال گذشته در حدود ۱۵/۶ درصد از خاک کشور دچار بیابان‌زایی و افول زیست محیطی با شدت‌های کم و زیاد شده است. در کنار مناطق بیابان‌زایی شده می‌توان به پهنه‌های آبی خشک شده نیز اشاره کرد. زیرا در فاصله زمانی مورد مطالعه، در حدود ۵ هزار کیلومتر مربع از گستره‌های آبی کشور خشک گردیده است که از مظاهر آن می‌توان به دریاچه‌های ارومیه و بختگان اشاره کرد. نحوه توزیع مکانی مناطق بیابان‌زایی شده نیز حاوی نکات مهم و قابل توجهی است. به طوری که بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین سطح مناطق بیابان‌زایی شده (به‌ویژه بیابان‌زایی با شدت زیاد) در

- erosion). Master's thesis in desertification. Tehran University. 115p.
- Adams, J. B., Smith, M. O. and Johnson, P. E., 1986. Spectral mixture modeling: a new analysis of rock and soil types at the Viking Lander I Site. *Journal of Geophysics Researches*, 91(B8): 8098-8112.
- Dawelbait, M. and Morari, F., 2012. Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. *Journal of Arid Environments*, 80: 45-55.
- Ekhtesasi, M. R. and Mohajeri, S., 1995. Classification of the type and severity of land desertification in Iran (ICD). Second Conference on the Issues of Desert Regions in Kerman. November.
- Escadafal, R., Barbero-Sierra, C., Exbrayat, W., Marques, M. J., Akhtar-Schuster, M., Haddadi, A. and Ruiz, M., 2015. First appraisal of the current structure of research on land and soil degradation as evidenced by bibliometric analysis of publications on desertification. *Journal of Land Degradation and Development*, 26 (5): 413-422.
- Fahnestock, P., Lal, R. and Hall, G. F. 1996. Land use and erosional effects on two Ohio Alfisols: Crop yields. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7: 85-100.
- Farajzadeh, M. and Karimi, N., 2013. Principles of Satellite Meteorology. *Journal of Organization for Researching and Composing (SAMT)*. 236p.
- Gooya, A., 2003. Investigating the desertification factors of Hussein Abad Plain Mish Mast Qom and presenting a regional model, Master's thesis in Desertification. University of Tehran. 150 pages.
- Huete, A. R., Leeuwen, W. J. D., Hua, G., Qi, J. and Chehbouni, A. 1992. Normalization of multidirectional red and NIR reflectances with the SAVI. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 41(2): 143-154.
- Imani, J., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P. and Gholinejad, B., 2017. Comparison ground samples establishing, number and areas in Landsat 8, 30×30 pixels to aware correlation plant cover percentage with NDVI index in three study areas (Study area: Rangelands around Choghakhor Dam Lake in Chaharmahal and Bakhtiari province). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 24(2): 429-440.
- Jacques, D. C., Kergoat, L., Hiernaux, P., Mougin, E., Defourny, P., 2014. Monitoring dry vegetation masses in semi-arid areas with MODIS SWIR bands. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 153: 40-49.
- Jafari, R., 2001. Evaluation and preparation of desertification map by analyzing FAO-UNEP and ICD methods in Kashan area (wind erosion and water resource degradation). Master Degree in
- استان‌های واقع در جنوب‌غربی کشور تمرکز یافته است (استان‌های کرمانشاه، لرستان، ایلام و خوزستان) که با مدنظر قرار دادن بسیاری از مشکلات محیط‌زیستی این استان‌ها (همانند افزایش قابل توجه شدت و فراوانی وقوع ریزگردها و طوفان‌های گرد و غبار) کاملاً قابل توجیه است. بعد از مناطق جنوب‌غربی کشور، استان‌های جنوبی (استان‌های فارس، بوشهر و هرمزگان) بیشترین سهم را از سطوح بیابان‌زایی کشور به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد وقوع خشکسالی‌های مکرر در این استان‌ها در توسعه روند بیابان‌زایی کاملاً تأثیرگذار بوده است. در کنار تمامی موارد یادشده، از جمله نکات قابل ملاحظه در نتایج بدست‌آمده وقوع بیابان‌زایی در نیمه شمالی کشور با شدت کم است. در واقع نوار شمالی کشور در طول ۳۲ سال گذشته فرایند رو به سمت بیابان‌زایی را طی کرده است که توجه بیشتر مسئولان امر را به خود می‌طلبد. زیرا به نظر می‌رسد عوامل طبیعی موجود (همانند وقوع خشکسالی‌های پی در پی و کاهش نزولات جوی در پی وقوع تغییرات اقلیمی)، در کنار عوامل انسانی (همانند از بین بردن جنگل‌ها، آتش‌سوزی‌ها و تغییرات کاربری اراضی) دست به دست هم داده است تا شرایط محیط‌زیستی این منطقه از کشور را با بحران مواجه نماید. در مجموع با توجه به زوال زیست محیطی ۱۵ درصد از مساحت کشور، لازم است تدابیر جدی و سخت‌گیرانه‌ای به منظور حفاظت از محیط‌زیست کشور گرفته شود تا بتوان این روند را متوقف و یا حداقل کند کرد. در این راستا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مکانی و زمانی متنوع و گوناگون در کنار انواع تکنیک‌های سنجش از دوری آشکارسازی تغییرات می‌تواند در پایش اینگونه روندها بسیار مفید و کارگشا باشد. زیرا بدیهی است با توجه به وسعت پهله منابع طبیعی کشور، امکان پایش مستمر آنها با استفاده از روش‌های سنتی میسر نیست و بکارگیری ابزارهای نوینی همانند سنجش از دور بسیار ضروریست.

منابع مورد استفاده

- Abrisham, E., 2004. Evaluation and preparation of desertification map by analyzing ICD, FAO-UNEP and MICD methods in Fakhr Abad-Mehriz (Wind

- K. and Godarzi, M., 2006. Vegetation cover change during 25 years, Case of Lar Dam basin. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 13(3): 186-200.
- Nateghi, S., Zehtabian, G. H. and Ahmadi, H., 2008. Evaluation of Desertification Intensity in Segzi Plain Using IMDPA Model. *Journal of Range and Watershed Management*, 62(3): 419-431.
- Ray, T. W., Murray, B. C., 1996. Nonlinear spectral mixing in desert vegetation. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 55(1): 59-64.
- Röder, A., Udelhoven, T., Hill, J., Del Barrio, G. and Tsiourlis, G., 2008. Trend analysis of Landsat-TM and -ETM+ imagery to monitor grazing impact in a rangeland ecosystem in Northern Greece. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 112: 2863-2875.
- Smith, M.O., Ustin, S. L., Adams, J. B., Gillespie, A. R., 1990. Vegetation in deserts: I. A regional measure of abundance from multispectral images. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 31(1): 1-26.
- Tucker, C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2): 127-150.
- Tueller, P. T. and Oleson, S. G., 1989. Diurnal radiance and shadow fluctuations in a cold desert shrub plant community. *Journal of Remote Sensing Environment*, 29(1): 1-13.
- Yaghoobi, S., Faramarzi, M., Karimi, H. and Sarvarian, J., 2016. Assessment of efficiency of artificial neural network in predicting the trend of desertification processes by using GIS (Case study: Dehloran plain, Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(3): 61-77.
- Zolfaghari, F. and Khosravi, H., 2016. Assessment of Desertification Severity Using IMDPA Model in Saravan Region. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 27(2): 87-102.
- desertification. University of Tehran. 112 pages.
- Kazemina, A. R., Rangzan, K. and Mahmoud Abadi, M., 2017. Assessment of Desertification using the MEDALUS model (Case study: the lands of west Ahvaz). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 8(2): 111-126.
- Khosravi, H., 2004. Application of the Medalus Model in desertification of Kashan region. Master's Degree, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 156p.
- Khosroshahi, M., Mahmoudi, F. and Kashki, M. T., 2011. Determination of Desert Areas in Iran on the Bases of Geological Effected Factors. *Journal of Geosciences*, 20(80): 15-22.
- Lal, R., 1995. Erosion–crop productivity relationships for soils of Africa. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 661–667.
- Li, J., Yang, X., Jin, Y., Yang, Z., Huang, W., Zhao, L., Gao, T., Yu, H., Ma, H. and Qin, Z., 2013. Monitoring and analysis of grassland desertification dynamics using Landsat images in Ningxia, China. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 138: 19-26.
- Malila, W., 1980. Change vector analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat. In *Proceedings of the 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. Purdue University, 3 – 6 June 1980: 326 – 335.
- Mombani, M., Nasrollahi, M., Karimi, K. and Ara, H., 2018. Investigation and comparison of the maximum likelihood and fuzzy artmap methods in preparing and monitoring land use changes (Case study: Omidiyeh, Khuzestan province). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 25(2): 248-262.
- Mombeni, M., Karamshahi, A. A., Azadnia, F., Garaee, P. and Karimi, K., 2016. Assessment of desertification intensity using IMDPA method (Case study: Dashte Abbas, Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 7(3): 100-112.
- Mousavi, S. A., Farahpour, M., Shokri, M., Solaimani,

Estimation of severity and extent of desertification in Iran using Landsat satellite images and spectral mixture analyses methods during 1984 and 2015

N. Karimi^{1*} and S. Namdari²

1*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Water Resources Research, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran, Email: nehmatkarimi@gmail.com

2- Ph.D. in Satellite Meteorology, Desert Affairs Bureau, Forest, Range and Watershed Management Organization, Tehran, Iran

Received:11/14/2018

Accepted:06/18/2019

Abstract

In the present study, the severity and extent of desertification in Iran was evaluated using Landsat satellite images with spatial resolution of 30 m during 1984 and 2015. In this regard, new remote sensing techniques (spectral mixture analysis methods) were used. Spectral Mixture Analysis (SMA) is a technique for estimating the proportion of each pixel that is covered by a series of known cover types in mixed pixels. In this regard, changes in vegetation, soil, water, and salt marshes of the entire country were studied. Results showed that about 227000 km² of Iran included desertification with low intensity over the past 32 years. In addition, the areas most affected by the desertification and dried water bodies were about 33000 and 5000 km², respectively. This indicates the occurrence of desertification with varying intensities in 15.6% of the country. Results showed that the contribution of southwest provinces (Ilam, Kermanshah, Lorestan and Khuzestan) and southern provinces (Boushehr, Fars and Hormozgan provinces) were much more than other provinces. However, in the eastern and southeastern provinces of the country, due to the dominance of desert and semi-desert climate, the lowest desertification intensity was observed.

Keywords: Desertification, Landsat Images, Spectral Mixture Analysis (SMA), Change Vector Analysis (CVA).