

بررسی پتانسیل شاخص‌های رطوبت خاک در پایش بیابان‌زایی

فاطمه طیب محمودی^{۱*} و ناهید قاسمی دستگردی^۲

۱- استادیار گروه نقشه برداری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

(تاریخ دریافت ۹۸/۱۱/۱۳-تاریخ پذیرش ۹۸/۱۲/۰۳)

چکیده:

در این تحقیق از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو بازه زمانی با فاصله ۱۵ سال، بین سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ به منظور پایش بیابان‌زایی استفاده شده است. برای هر بازه زمانی تعداد چهار تصویر با فاصله یک ماه از یکدیگر برای ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد از منطقه دشت قزوین اخذ گردید. پس از اعمال پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر و انجام قطعه بندی، چهار کلاس عارضه بیابان، پوشش گیاهی، خاک مرطوب و سایر عوارض به روش شیء مبنا و مبتنی بر تعریف شاخص‌های طیفی رطوبت خاک تشخیص داده شدند. سپس، نتایج طبقه‌بندی شیء‌مبنای تصاویر اخذ شده در هر سال به روش رأی‌گیری در سطح تصمیمات با یکدیگر ادغام شدند تا یک نقشه طبقه بندی نهایی برای هر یک از سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۶ بدست آید. مقایسه بین دو نقشه طبقه بندی نهایی حاصل از ادغام تصمیمات، تغییرات صورت گرفته در کلاس عوارض را در این بازه زمانی ۱۵ ساله آشکار نمود. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر تغییرات منفی و از بین رفتن میزان قابل توجهی از پوشش گیاهی و خاک مرطوب در این بازه زمانی و همچنین تغییرات مثبت و رشد مناطق بیابانی طی این سال‌ها در دشت قزوین است.

کلید واژگان: بیابان‌زایی، شاخص طیفی رطوبت خاک، آشکارسازی تغییرات، روش شیء مبنا، دشت قزوین، تصاویر لندست

۱. مقدمه

یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها برای تحقیق در این زمینه استفاده از علم سنجش از دور و به‌کارگیری تصاویر چندطیفی و چندزمانی ماهواره‌ای می‌باشد که در این پژوهش از آن استفاده شده است. از سوی دیگر، تخمین رطوبت خاک مبتنی بر داده‌های سنجش از دور در تحقیقات سیستم‌های سطح زمین، یک متغیر مهم است که مطالعات چرخه آب منطقه‌ای، مدیریت آبیاری کشاورزی، تغییرات آب و هوا و پایش محیط زیست و بیابان‌زایی را شامل می‌شود. با توجه به اقلیم نیمه خشک و کم آب کشور ایران، بحث بیابان‌زایی و عوامل موثر بر پیشرفت بیابان‌ها در کشور یکی از مسائل مهم در چشم انداز طولانی مدت در توسعه پایدار است. از این جهت در این تحقیق به بررسی و پایش بیابان‌زایی پرداخته شده است و باتوجه به این که بیابان‌زایی در پهنه‌ای وسیع مورد بررسی قرار می‌گیرد، و با توجه به پیشرفت تکنولوژی‌های مرتبط با علم سنجش از دور، از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانی و چندطیفی برای پایش بیابان‌زایی مبتنی بر تخمین رطوبت خاک استفاده شده است.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعات مربوط به استفاده از داده‌های سنجش از دور در تخمین رطوبت خاک از سال ۱۹۹۰ پیشرفت بزرگی داشت (Carlson *et al.*, 1981). تفاوت بنیادین بین روش‌های تخمین رطوبت خاک در نحوه استفاده از طیف الکترومغناطیس و منبع انرژی الکترومغناطیس می‌باشد. مقایسه بین طیف فروسرخ نزدیک و حرارتی برای تشخیص رطوبت خاک نشان می‌دهد که از محدوده فروسرخ حرارتی برای تعیین خصوصیات حرارتی خاک در اثر تغییر رطوبت استفاده می‌شود. همچنین برای تعیین رطوبت خاک از خصوصیات حرارتی مثل دمای خاک و اینرسی حرارتی نیز استفاده

بیابان زیست بومی است که در آن استمرار و پایداری چرخه حیات با دشواری‌های فراوانی همراه بوده و کمبود آب مهم‌ترین شناسه آن است. علیرغم تنگناهای حاکم بر جغرافیای مناطق خشک و بیابانی، دل‌نگرانی امروز جامعه جهانی، نه از وجود چنین اقلیم‌هایی بلکه از پدیده زیانبار «بیابان‌زایی» است که باعث کاهش استعداد تولید سرزمین در طول زمان، به صورت تدریجی و اغلب غیرقابل رویت می‌شود (Rezaee *et al.*, 2017). بیابان‌زایی از جمله تهدیدهای گسترده و پیچیده زیست محیطی است که با ابعاد مختلف فنی، اقتصادی و اجتماعی، سومین معضل جامعه جهانی بعد از تغییرات اقلیمی و کمبود آب شیرین محسوب می‌شود (Zhao, 2009).

در تعریف، بیابان‌زایی عبارت است از کاهش استعداد اراضی در اثر یک یا گروهی از فرآیندها (از قبیل فرسایش بادی، فرسایش آبی، تخریب پوشش گیاهی، تخریب منابع آب، ماندابی شدن، شور شدن و قلیایی شدن خاک و ...) که توسط عوامل محیطی یا انسانی تشدید می‌شود. یکی از عوامل موثر در ایجاد و رشد بیابان‌زایی، گسترش شهرها، افزایش منابع گرم‌زایی و بالا رفتن دمای محیط و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌باشد. از آنجایی که ایران یک کشور در حال توسعه است، و با در نظر گرفتن این موضوع که کشور ما از لحاظ اقلیمی کم آب و نیمه خشک است و نیز شهرهای ما در حال گسترش هستند، ضرورت بررسی و پایش بیابان‌زایی در ایران احساس می‌شود.

از آنجاییکه بحث بیابان‌زایی در پهنه وسیع رخ می‌دهد، و مطالعات میدانی در این حجم و وسعت مکانی، زمان بر و پرهزینه است، لذا باید در جستجوی راهکاری بود که زمان و هزینه مطالعات اولیه را به حداقل برساند.

2014). بخش ماکروویو فعال از روش‌های مبتنی بر فیزیک تجربی استفاده می‌کند. ویژگی‌های این روش قدرت تفکیک مکانی خوب است و ابر و شرایط محیطی زمان عکسبرداری روی آن اثر ندارد. اما در مقابل، ناهمواری‌های سطح زمین و پوشش گیاهی و کوهستان بر روی آن اثر منفی می‌گذارد و همچنین دارای قدرت تفکیک زمانی پایین است (Bartsch *et al.*, 2012; Vereecken *et al.*, 2014).

در روش‌های ترکیبی، دو روش از روش‌های بالا در کنار هم برای تخمین رطوبت خاک استفاده شود که این بخش خود به سه قسمت تقسیم می‌شود، اول ترکیب روش نوری و فرو سرخ حرارتی در کنار هم است. مزایای این روش داشتن قدرت تفکیک مکانی بالا و پیاده سازی ساده و مستقیم می‌باشد و از معایب آن، محدودیت در شرایط ابری، قدرت تفکیک زمانی پایین و عمق نفوذ کم است (Petroopoulos & Carlson, 2011; Zhang *et al.*, 2014). قسمت دوم مربوط به استفاده ماکروویو فعال و غیرفعال در کنار هم می‌باشد، که دارای قدرت تفکیک مکانی و زمانی خوبی است، اما مقیاس بندی و اعتبار سنجی ظرفیت رطوبت خاک در آن نیاز به احتیاط بیشتری دارد و همچنین عمق‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک با این روش متفاوت است (Narayan *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2012). در قسمت سوم روش نوری و ماکروویو فعال و غیرفعال با هم ترکیب می‌شوند، که در این حالت پوشش گیاهی و ناهمواری‌های سطح زمین کمترین تاثیر را خواهد داشت اما از معایب آن مثل روش قبل باید در مقیاس بندی و اعتبار سنجی ظرفیت رطوبت خاک احتیاط بیشتری به کار برد، و عمق اندازه‌گیری رطوبت خاک متفاوت است (Owe *et al.*, 2001).

می‌شود. محدوده فرسرخ نزدیک جهت بررسی تغییرات عناصر در بازتاب خاک یا فیزیولوژی پوشش گیاهی در تخمین رطوبت خاک با استفاده از اختلاف طیفی مثل دامنه جذب و ترکیب طیفی استفاده می‌گردد (Zhang & Zhou, 2016).

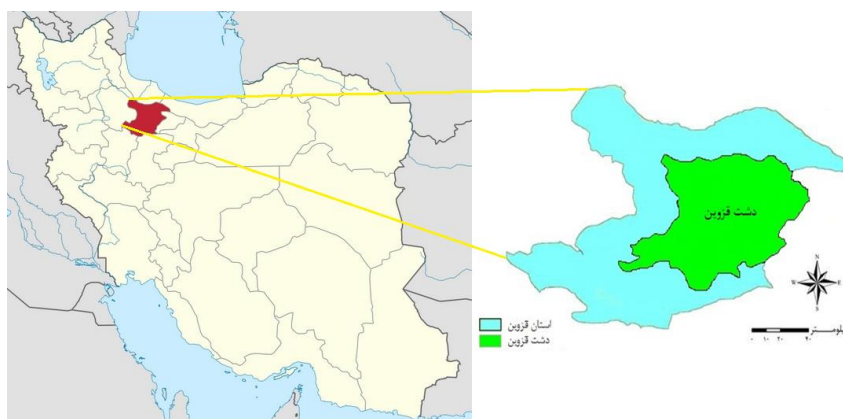
به طور کلی روش‌های تخمین رطوبت خاک از منظر استفاده از طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به چهار دسته تقسیم می‌شوند: (۱) استفاده از روش‌های نوری، (۲) استفاده از ماکروویو غیرفعال، (۳) استفاده از ماکروویو فعال و (۴) استفاده از روش‌های ترکیبی (Zhang & Zhou, 2016). استفاده از روش‌های نوری، خود به دو بخش تقسیم می‌شود، یکی مبتنی بر نور مرئی که دارای ویژگی‌هایی چون قدرت تفکیک مکانی خوب و چندین باند طیفی است و از معایب آن می‌توان دخالت پوشش گیاهی، اثرات شب و قدرت تفکیک زمانی پایین را نام برد (Filion *et al.*, 2014; Anne *et al.*, 2016). بخش دیگر روش‌های نوری استفاده از روش‌های مبتنی بر طول موج‌های فرسرخ حرارتی می‌باشد، که از مزایای آن داشتن قدرت تفکیک مکانی خوب و دسترسی به ماهواره‌های چندگانه است و از معایب آن می‌توان دخالت پوشش گیاهی، اثرات شب، قدرت تفکیک زمانی ضعیف، اثرات اتمسفر و ابر را نام برد (Minacapilli *et al.*, 2009; Qin *et al.*, 2013). بخش ماکروویو غیرفعال شامل روش‌هایی بر مبنای فیزیک تجربی است که از مزایای آن می‌توان به دقت بالا برای سطح خاک لخت، عدم وجود محدودیت در شرایط ابری و قدرت تفکیک زمانی بالا را نام برد. از معایب این روش قدرت تفکیک مکانی پایین است و اینکه تحت تاثیر پوشش گیاهی و زبری سطح قرار می‌گیرد (Pan *et al.*, 2014; De Jeu *et al.*, 2014).

۱-۲. روش پیشنهادی پایش بیابان زایی مبتنی بر

شاخص‌های رطوبت خاک

روش ارائه شده در این تحقیق به منظور پایش بیابان-زایی از سه مرحله اصلی پایش پردازش، تشخیص عارضه و آشکارسازی تغییرات تشکیل شده است. آشکارسازی تغییرات محیط از جمله تعیین رشد بیابان‌ها براساس داده‌های سنجش از دور مستلزم تشخیص و شناسایی انواع عوارض موجود در منطقه مورد مطالعه است. لذا، پایش از پرداختن به مراحل روش پیشنهادی، منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق تشریح می‌گردند.

۲-۲. منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی تحقیق

در این تحقیق منطقه دشت قزوین مورد مطالعه قرار گرفته است. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی شمال غربی $36^{\circ} 10' 5'' N$ و $49^{\circ} 32' 38'' E$ ، شمال شرقی $36^{\circ} 10' 37'' N$ و $44^{\circ} 5' 5'' E$ ، جنوب شرقی $35^{\circ} 34' 32'' N$ و $49^{\circ} 33' 12'' E$ ، و جنوب غربی $35^{\circ} 34' 2'' N$ و $44^{\circ} 5' 5'' E$ است (شکل ۱). این دشت در منطقه مرکزی ایران در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده است و دارای زمین‌های کشاورزی زیادی است و از لحاظ پوشش گیاهی بیشتر زمین‌ها از محصولات کشاورزی بهره می‌برند.

علت اینکه این منطقه جهت مطالعه موردی پایش بیابان‌زایی انتخاب شد این بوده است که در تحقیقات انجام شده در ۲۰ سال اخیر و در گزارشات و اخبار ارایه شده از سوی سازمان‌های ذیربط درباره این منطقه اشاره شده که میزان برداشت آبهای زیرزمینی از حوضه‌های آبریز آن بسیار زیاد بوده و بسیاری از مناطق زیرکشت آن دیگر قابل کشت و زراعت نمی‌باشد. یکی دیگر از دلایل مهم در انتخاب این منطقه اهمیت آن از لحاظ میزان کشت سالیانه و تولید محصولات کشاورزی و غذایی در کشور است. همچنین توجه به کاهش

میزان آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر و کمبود آب در کشور ایران اهمیت مسأله را بیش از پیش نمایان می‌کند.

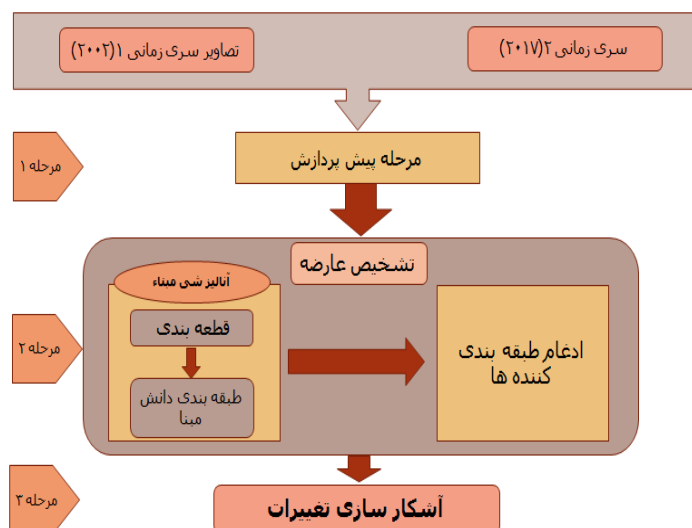
۲-۳. داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از دو مجموعه تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۱۵ سال، چهار تصویر مربوط به سال ۱۳۸۱ شمسی (۲۰۰۲ میلادی) و چهار تصویر مربوط به سال ۱۳۹۶ شمسی (۲۰۱۷ میلادی) استفاده گردید. تصاویر سال ۱۳۸۱ از ماهواره‌ی لندست-۷ و سنجنده-۷ ی ETM+ برای چهار ماه متوالی اردیبهشت، خرداد،

۴-۲. ساختار روش پیشنهادی بیابان‌زایی

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، روش ارائه شده در این تحقیق به منظور پایش بیابان‌زایی از سه مرحله اصلی پیش‌پردازش، تشخیص عارضه و آشکارسازی تغییرات تشکیل شده است.

تیر و مرداد، که در این ماه‌ها کشت و زراعت انجام می‌شود از سایت سازمان جغرافیایی آمریکا^۱ اخذ گردید. تصاویر مربوط به سال ۱۳۹۶ از ماهواره‌ی لندست-۸ و سنجنده OLI در همان ماه‌ها از سایت USGS انتخاب گردید.



شکل ۲- ساختار فرایند سه مرحله ای روش پیشنهادی پایش بیابان‌زایی

پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر هستند. در این تحقیق برای افزایش وضوح تصاویر، با استفاده از باند پانکروماتیک موجود در هر تصویر یک پنشارپ ساخته شد تا با افزایش قدرت تفکیک مکانی نتایج بهتری از مرحله تشخیص عارضه حاصل گردد.

۵-۲. پیش پردازش داده‌ها

در مرحله پیش‌پردازش، با یک سری عملیات بر روی داده‌های خام (قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتریک، اتمسفری و هندسی مورد توجه قرار می‌گیرند. در این تحقیق برای انجام تصحیحات اتمسفری از فیلتر تصحیح اتمسفری FLAASH^۲ استفاده شد (Pietro-Amparan, 2018). با توجه به اینکه تصاویر گرفته شده در تمامی دوره‌ها زمین مرجع بوده و دارای مختصات جهانی UTM است، نیاز به تصحیح هندسی نداشت. باندهای طیفی تصاویر لندست ۷ و ۸ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است، و هر دو ماهواره دارای یک باند

۶-۲. تشخیص عوارض

برای تشخیص عوارض در این تحقیق از روش آنالیز شیء مبنا استفاده شد. دو مرحله اصلی در انجام این گونه آنالیزها در نظر گرفته می‌شوند: (۱) انجام قطعه-بندی بر روی هر تصویر ورودی به الگوریتم شیء مبنا، (۲) طبقه بندی دانش مبنای قطعات تصویری مبتنی بر ویژگی‌های مستخرج از هر قطعه تصویری. از قطعات

2- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

1- United States Geological Survey (USGS)

طیفی بین پیکسل‌های هر قطعه و خصوصیات ساختاری آن، مورد نیاز می‌باشد. از آنجایی که اساس مطالعه ما بررسی پتانسیل شاخص‌های رطوبت خاک به منظور پایش بیابان‌زایی است، ابتدا باید انواع شاخص‌های طیفی برای طبقه‌بندی کلاس‌های عارضه اندازه‌گیری شوند. با توجه به تعاریف انجام شده در خصوص منطقه مورد مطالعه و داده‌های تحقیق، منطقه را به چهار کلاس پوشش گیاهی، بیابان، خاک مرطوب و سایر عوارض طبقه بندی می‌کنیم. شاخص‌های طیفی براساس نسبت‌های بانندی و انجام عملیات ریاضی بر روی باندهای تصویر و حساسیت عوارض مختلف در باندهای طیفی متفاوت باعث می‌شود که بتوان به کمک این شاخص‌ها عوارض مختلف تصویر را از هم تشخیص داده و در نتیجه طبقه‌بندی انجام گیرد. شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل، $NDVI$ ، $OSAVI$ ، $NDMI$ و $NDWI$ است، که در جدول ۱ شرح داده شده‌اند. در روش شیء مبنای پیشنهادی در این تحقیق با استفاده از شاخص‌های تعریف شده، قوانین مناسب برای طبقه‌بندی قطعات تصویری تعریف شد. ساختار سلسله مراتبی کلی قوانین طبقه‌بندی در این تحقیق در شکل ۳ ارائه گردیده است.

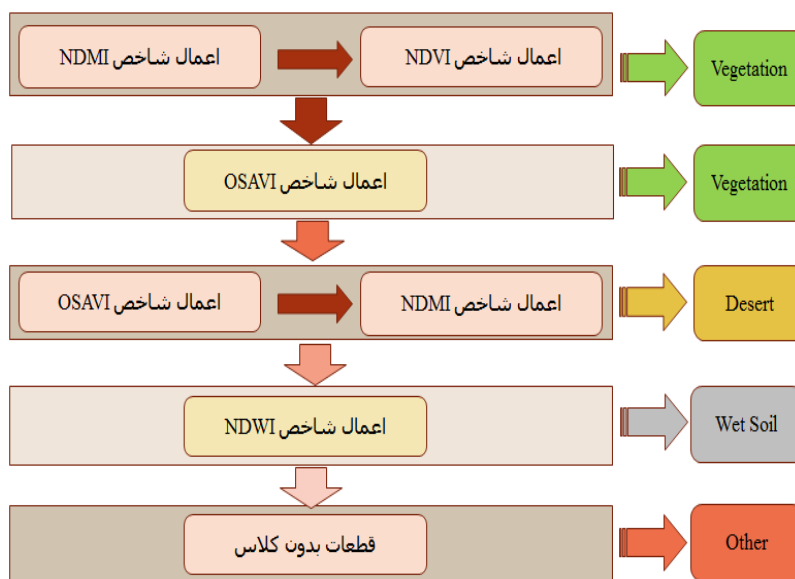
تصویری حاصل از انجام طبقه‌بندی به عنوان واحدهای پایه در طبقه‌بندی دانش مبنا استفاده می‌گردد. بنابراین، با به‌کارگیری روش‌های دقیق در طبقه‌بندی، اطمینان به نتایج طبقه‌بندی قطعات عارضه در آنالیزهای شیء مبنا افزایش می‌یابد (Tabib Mahmoudi, 2014). در انجام آنالیز شیء مبنا در این تحقیق از الگوریتم طبقه‌بندی مستخرج از مدل چندمقیاسی برای تولید واحدهای پایه در طبقه‌بندی دانش مبنا استفاده شده است. تکنیک طبقه‌بندی چندمقیاسی با قطعات عارضه متشکل از تنها یک پیکسل فرآیند عملیاتی خود را آغاز کرده و به صورت تکراری زوج‌هایی از این قطعات تصویری را به یکدیگر متصل می‌نماید تا قطعات بزرگ‌تر تشکیل شوند. تصمیم‌گیری برای اتصال قطعات تصویری به یکدیگر در این روش با در نظر گرفتن شرط همگونی محلی صورت می‌پذیرد که در آن از شباهت بین عوارض تصویری مجاور برای اتصال آنها استفاده می‌گردد. پس از انجام طبقه‌بندی تصویر در روند آنالیز شیء مبنا، لازم است ضمن انجام طبقه‌بندی دانش مبنا، هر یک از قطعات تصویری در کلاس عارضه خود قرار داده شوند. در این راستا، پایگاه دانشی مناسب و قابل اطمینان براساس دانش شخص خبره و انواع تعاملات

جدول ۱- روابط شاخص‌های طیفی مورد استفاده در پایش بیابان‌زایی

نام شاخص	فرمول	توضیحات
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	شاخص پوشش گیاهی
OSAVI	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.16)}$	شاخص خاک بهینه (مناسب کشاورزی)
NDMI	$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	شاخص اختلاف رطوبتی نرمال
NDWI	$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	آب‌های سطحی و خاک مرطوب

2 -Normalized Difference Water Index

1 -Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۳- دیاگرام اعمال شاخص‌های طیفی در قالب قوانین طبقه بندی

۷-۲. ادغام طبقه بندی کننده‌ها

فرآیند ایجاد مجموعه‌ای از طبقه‌بندی کننده‌ها و ادغام نتایج آنها با یکدیگر به منظور دستیابی به نتیجه طبقه بندی دقیق‌تر از هر یک از نتایج اولیه، ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها نام دارد (Kuncheva, 2004). روش‌های ادغام در سیستم‌های طبقه‌بندی کننده چندگانه براساس نوع خروجی به دو گروه تقسیم می‌شوند: "روش‌های مبتنی بر خروجی مطلق" و "روش‌های مبتنی بر خروجی فازی". روش‌های مبتنی بر خروجی مطلق روی طبقه‌بندی کننده‌هایی اعمال می‌شوند که خروجی آنها تک مقداری است و هر عضو از داده را به یک کلاس متعلق می‌دانند. از آنجایی که تصمیم هر طبقه‌بندی کننده متفاوت از دیگری است، خروجی همه طبقه‌بندی کننده‌ها، برداری از تصمیم‌های مختلف است. سه روش "رای گیری"، "تئوری بیز" و "BKS" از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها با خروجی مطلق هستند (Kuncheva, 2004; Samadzadegan *et al.*, 2014).

در این تحقیق برای ادغام داده‌های حاصل از طبقه بندی تصاویر از روش ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها با خروجی مطلق مبتنی بر رای گیری استفاده شد. نتیجه حاصل برای هر سری زمانی از تصاویر طبقه‌بندی یک تصویر طبقه‌بندی شده نهایی را بدست آورد. در این روش نتیجه طبقه‌بندی بدست آمده برای هر پیکسل از تصویر در چهار نقشه طبقه‌بندی با هم مقایسه می‌شود و اگر در سه نقشه یا بیشتر یک عارضه مشابه به پیکسل موردنظر اختصاص داده شده باشد، کلاس عارضه موردنظر در نقشه طبقه بندی نهایی به عنوان کلاس برنده مشخص می‌گردد. نتیجه نهایی حاصل از ادغام طبقه بندی کننده‌ها، دو تصویر طبقه‌بندی شده خواهد بود، که یکی برای سال ۱۳۸۱ و دیگری ۱۳۹۶ است.

۸-۲. آشکارسازی تغییرات

در آخرین مرحله از روش پیشنهادی، به منظور آشکارسازی تغییرات بین دو نتیجه ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها در سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۹۶ مقایسه انجام شده و نقشه تغییرات تهیه گردید. آشکارسازی تغییرات

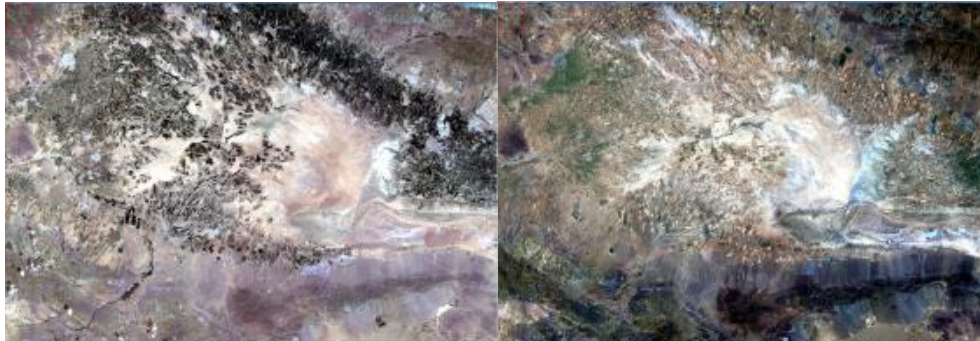
ابتدا با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica V9.1 باندهای طیفی موردنیاز در پروژه که زمان اخذ تصاویر از سایت USGS به طور جدا از هم هستند را به یک تصویر با چندین باند طیفی تبدیل کردیم. برای تصاویر ETM+، لندست-۷ باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷، و برای تصاویر OLI، لندست-۸ باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ انتخاب شدند. مرحله بعد اعمال تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک بود که در این پروژه تصحیح اتمسفری FLAASH بر روی تمامی تصاویر اعمال شد. در مرحله آخر پیش پردازش داده‌ها برای بالا بردن دقت مکانی تصاویر طیفی و افزایش وضوح این تصاویر از قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر با استفاده از نرم افزار ENVI 4.7 و به روش گرام اشمیت، برای هر یک از تصاویر یک پنشارپ تهیه شد (شکل ۴).

اراضی به دو روش ارائه می‌گردد: (۱) تعیین کلاس‌هایی که تغییر کردند و کلاس‌هایی که بدون تغییر باقی ماندند، (۲) تعیین کلاس‌هایی که تغییر کردند و نوع تغییر کلاس. در این مطالعه برای آشکارسازی تغییرات از هر دو روش استفاده شده است. هم تغییر و عدم تغییر کلاس‌ها نمایش داده شده و هم نوع تغییر کلاس و تبدیل آن به کلاس دیگر نیز مشخص شده است.

۳. نتایج

از آنجایی که اعتبار پژوهش‌های علمی وابستگی مستقیم به ارزیابی نتایج عملی آنها دارد، در این بخش به ارائه نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی داده‌های ماهواره‌ای لندست برداشت شده از منطقه دشت قزوین پرداخته شده و به تفصیل نحوه بدست آمدن نتایج بیان خواهد شد.

۳-۱. نتایج اجرایی پیش پردازش داده‌ها



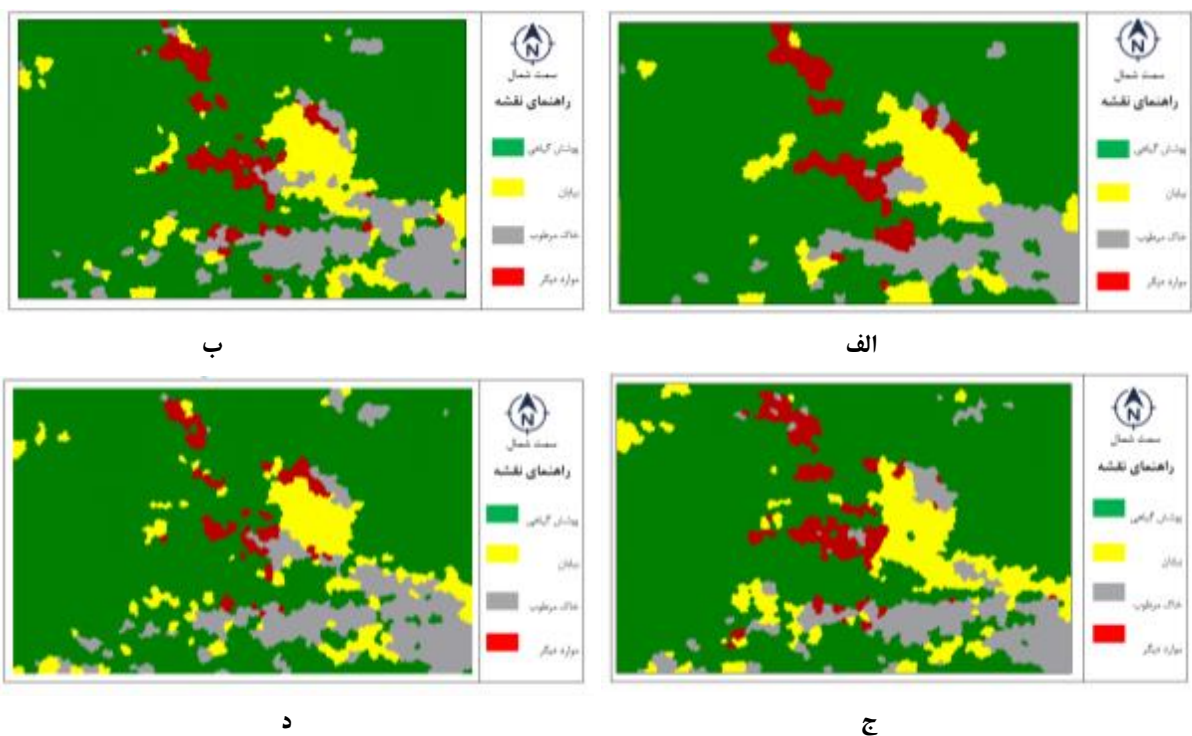
ب

الف

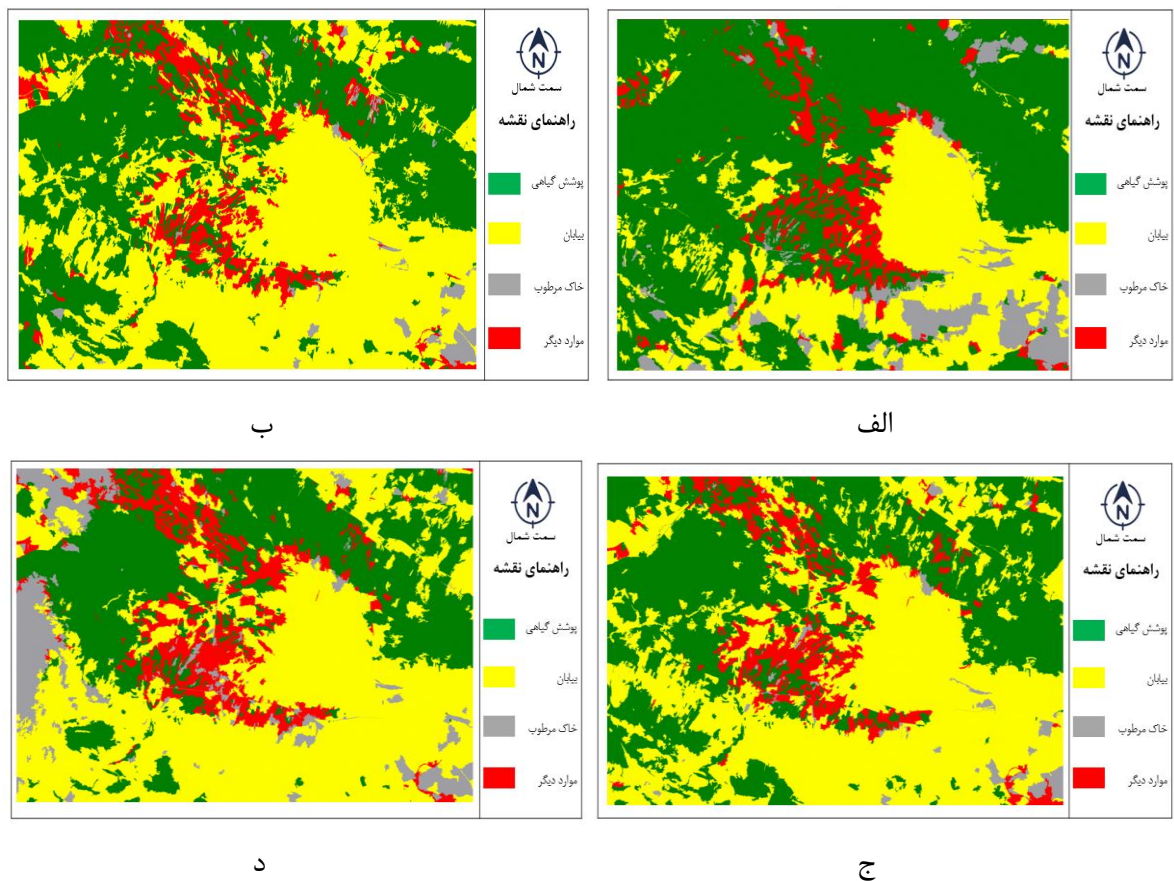
شکل ۴-الف) تصویر ترکیب رنگی طبیعی پنشارپ ۱۵ متری سال ۱۳۸۱ (ب) تصویر ترکیب رنگی طبیعی پنشارپ ۱۵ متری سال ۱۳۹۶ باندها برابر ۱ و پارامتر مقیاس ۳۵۰ در نظر گرفته شد. پس از قطعه‌بندی تصاویر باید به هر کدام از این قطعات تشکیل شده یک کلاس عارضه اختصاص داده شود. نتایج اجرایی طبقه‌بندی دانش مبنای تصاویر به تفکیک ماه و سال برداشت در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده است.

۳-۲. نتایج اجرایی تشخیص عوارض

در این بخش ابتدا تصاویر در محیط نرم‌افزار eCognition به روش چندمقیاسی قطعه‌بندی شدند. برای تصاویر مربوط به سال ۱۳۸۱، وزن تمام باندهای تصویر برابر ۱ و پارامتر مقیاس ۲۵۰ در نظر گرفته شد. در تصاویر مربوط به سال ۱۳۹۶، وزن تمام



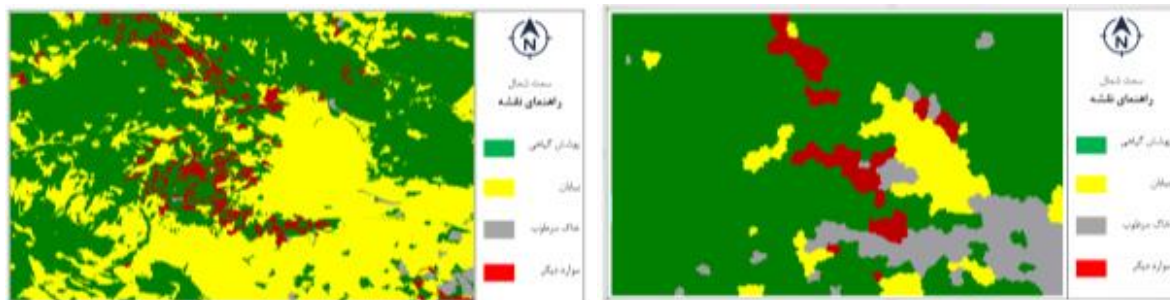
شکل ۵- نتایج طبقه بندی شیء مبنای تصاویر سال ۱۳۸۱ برداشت شده در ماه‌های: الف) اردیبهشت، ب) خرداد، ج) تیر، د) مرداد



شکل ۶- نتایج طبقه بندی شیء مبنای تصاویر سال ۱۳۹۶ برداشت شده در ماه های : الف) اردیبهشت، ب) خرداد، ج) تیر، د) مرداد

مرداد، کمتر در نظر گرفته شد. علت افزایش وزن ماه-های اردیبهشت و خرداد، زیرکشت بودن منطقه و افزایش میزان بارندگی در این ماهها بود. نتیجه حاصل از ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها در محیط نرم افزار MATLAB دو نتیجه طبقه‌بندی یکی برای سال ۱۳۸۱ شکل ۷-الف و دیگری برای سال ۱۳۹۶ شکل ۷-ب است.

در مرحله بعدی، چهار نقشه طبقه‌بندی تولید شده در هر سال، به منظور کاهش اثر رطوبت متغیر با یکدیگر ادغام شدند. ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها به روش رأی گیری مبتنی بر وزن‌دهی به نقشه‌ها و براساس زمان برداشت تصاویر اولیه انجام شد. لازم به ذکر است، که وزن نتایج مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خرداد در این مطالعه بیشتر و وزن نتایج مربوط به ماه‌های تیر و



ب

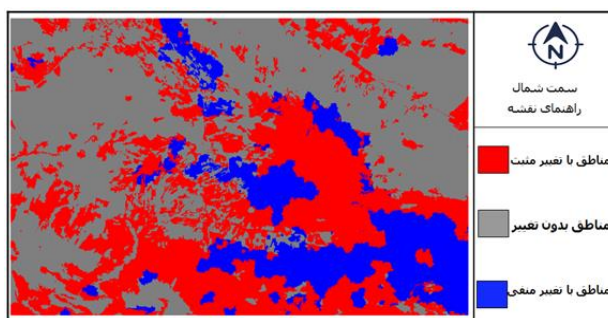
الف

شکل ۷- نتایج حاصل از ادغام طبقه بندی کننده‌های الف) سال ۱۳۸۱ ب) سال ۱۳۹۶

مرطوب و سایر عوارض است. اما سهم پوشش گیاهی و بیابان در این نمایش بیشتر از دو کلاس دیگر است. رنگ آبی نشان دهنده مناطق تغییر یافته منفی است، یعنی مناطقی که تغییرات آنها کاهش یافته است و در آنها کلاس عوارض به کلاس دیگری تبدیل شده است. این تغییرات بیشتر مربوط به کلاس خاک مرطوب و در درجه دوم کلاس سایر عوارض است. کلاس بیابان به میزان بسیار کمی تغییر منفی داشته است. از لحاظ آماری تغییرات کلاس‌ها در جدول ۲ آورده شده است. این جدول تغییرات را برحسب مساحت در هر کلاس نشان می‌دهد. پس از ارزیابی جدول ۲، مشخص شد که میزان اختلاف تصاویر برای کلاس پوشش گیاهی و خاک مرطوب و سایر عوارض منفی است، این بدان معناست که این کلاس‌ها طی بازه ۱۵ ساله کاهش یافته و به کلاس بیابان که میزان تغییرات آن مثبت است، تبدیل شده‌اند.

۳-۳. نتایج آشکارسازی تغییرات

به منظور آشکارسازی تغییرات در این تحقیق از نرم افزار ENVI استفاده شد. آشکارسازی به دو روش انجام شد و تغییرات آشکار شده بین دو نقشه طبقه‌بندی حاصل از ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها به صورت یک نقشه تغییرات بدست آمد. در روش اول، آشکارسازی تغییرات به صورت مناطق تغییر یافته و مناطق بدون تغییر انجام شد که نقشه تغییرات در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل مناطقی که با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند، تغییر مثبت به معنی افزایش کلاس‌ها را نشان می‌دهد. زمانی که این نقشه تغییرات را با نقشه‌های طبقه‌بندی در سال ۱۳۸۱ مقایسه می‌کنیم، به این نتیجه خواهیم رسید که افزایش مناطق بیشتر در کلاس بیابان بوده است. در شکل ۸ رنگ طوسی نشانگر مناطق بدون تغییر است، که شامل چهار نوع کلاس پوشش گیاهی، بیابان، خاک



شکل ۸- نقشه تغییرات منطقه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶

جدول ۲- تغییرات کلاس‌ها بر حسب مساحت بین دو طبقه بندی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶

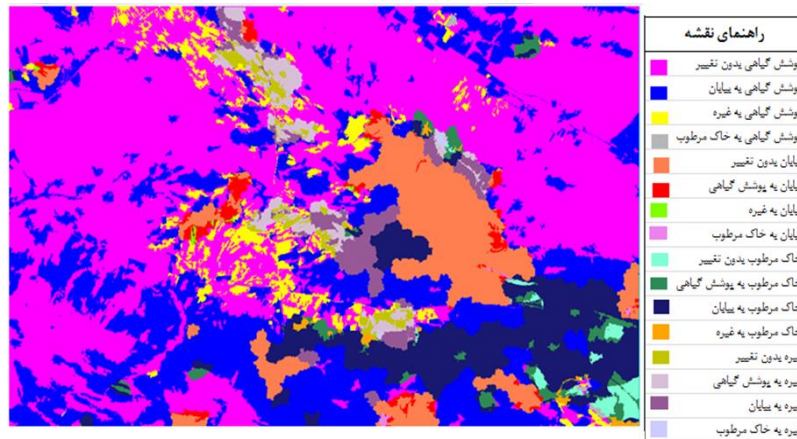
	پوشش گیاهی	بیابان	خاک مرطوب	سایر عوارض	مجموع سطر
پوشش گیاهی	۱۵۱۰۹۰۳۰	۴۶۳۷۵۴	۶۲۵۱۵۷	۵۸۶۳۵۷	۱۶۷۸۴۱۹۸
بیابان	۷۳۷۷۱۹۷	۲۴۸۲۱۳۴	۲۵۶۹۲۳۵	۷۰۷۰۵۰	۱۳۱۳۵۶۱۶
خاک مرطوب	۳۸۴۱۰	۱۷۶۹۷	۲۱۰۹۱۶	۱۷۰۸۵	۲۸۴۱۰۸
سایر عوارض	۱۱۸۲۲۱۲	۲۴۶۱۷	۸۳۸۳۵	۲۷۷۴۷۸	۱۵۶۸۱۴۲
مجموع ستون	۲۳۷۰۶۸۵۰	۲۹۸۸۲۰۲	۳۴۸۹۱۴۳	۱۵۸۷۸۷۰	
تغییرات عارضه	۸۵۹۷۸۲۰	۵۰۶۰۶۸	۳۲۷۸۲۲۷	۱۳۱۰۳۹۲	
اختلاف تصاویر	-۶۹۲۲۶۵۲	۱۰۱۴۷۴۱۴	۳۲۰۵۰۳۵	-۱۹۷۲۸	

مترمربع آن کلاس خاک مرطوب است. بیشترین درصد تغییر از لحاظ تبدیل شدن کلاس عارضه به کلاس‌های دیگر مربوط به کلاس خاک مرطوب است با ۹۳/۹۵٪، بعد کلاس سایر عوارض با ۸۲/۵۲٪، در رتبه سوم پوشش گیاهی با ۳۶/۲۶٪ و در آخر بیابان با ۱۶/۹۳٪. کمترین درصد تغییر را شامل شدند. این امر نشان دهنده از بین رفتن تقریباً تمام بخش کلاس خاک مرطوب و تبدیل آن به میزان ۷۳/۶۳٪ به کلاس بیابان، ۱۷/۹۱٪ پوشش گیاهی، و ۲/۴٪ به کلاس سایر عوارض است. بخش زیادی از کلاس سایر عوارض، به میزان ۴۴/۵۲٪ به کلاس بیابان، و ۳۹/۹۲٪ به پوشش گیاهی و ۱/۰۷٪ به کلاس خاک مرطوب تبدیل شده است. همچنین قسمت قابل توجهی از کلاس پوشش گیاهی، به میزان ۳۱/۱۱٪ به بیابان، ۴/۹۸٪ به کلاس سایر عوارض و ۰/۱۶٪ به خاک مرطوب تبدیل شده

به علاوه، از لحاظ مساحت بیشترین تغییر مربوط به کلاس پوشش گیاهی با مساحت ۸۵۹۷۸۲۰ مترمربع است، که ۷۳۷۷۱۹۷ مترمربع آن را بیابان، ۱۱۸۲۲۱۲ مترمربع آن را کلاس سایر عوارض و ۳۸۴۱۰ مترمربع آن را خاک مرطوب تشکیل می‌دهد. در رتبه دوم کلاس خاک مرطوب قرار دارد، که ۶۲۵۱۵۷ مترمربع آن پوشش گیاهی، ۲۵۶۹۲۳۵ مترمربع آن بیابان و ۸۳۸۳۵ مترمربع آن کلاس سایر عوارض است. در جایگاه سوم کلاس سایر عوارض است که ۱۳۱۰۳۹۲ مترمربع مساحت دارد، ۵۸۶۳۵۷ مترمربع آن پوشش گیاهی، ۷۰۷۰۵۰ مترمربع آن بیابان و ۱۷۰۸۵ مترمربع آن خاک مرطوب است. در آخر کلاس بیابان با کمترین تغییر به مساحت ۵۰۶۰۶۸ مترمربع است، که ۴۶۳۷۵۴ مترمربع آن کلاس پوشش گیاهی، ۲۴۶۱۷ مترمربع آن کلاس سایر عوارض و ۱۷۶۹۷

۹ مشاهده می‌شود، تغییرات کلاس‌ها به یکدیگر با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. با دقت بر روی این نقشه به این نتیجه می‌رسیم که تغییرات کلاس‌هایی که به بیابان تبدیل شده‌اند، مثل کلاس پوشش گیاهی و خاک مرطوب کاملاً مشهود است، و قسمت اعظم تغییرات را تشکیل می‌دهد.

است. بخش کوچکی از کلاس بیابان هم به کلاس‌های دیگر که به میزان ۱۵/۵۱٪ به پوشش گیاهی، به میزان ۰/۸۲٪ به کلاس سایر عوارض و ۰/۵۹٪ به کلاس خاک مرطوب تبدیل گردیده است. نوع دیگر آشکارسازی تغییرات نشان دادن میزان تغییرات همراه با نوع تبدیل به صورت نقشه است که در آن تبدیل کلاس‌ها به یکدیگر را در نقشه تغییرات به صورت شماتیک نشان می‌دهد (شکل ۹). همانطور که در شکل



شکل ۹- نقشه شماتیک تغییرات کلاس‌ها به یکدیگر از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶

پیشنهادی به منظور تخمین رطوبت خاک استفاده شد. اما همانطور که اشاره گردید، یکی از معایب روش‌های مبتنی بر داده‌های نوری، قدرت تفکیک زمانی ضعیف آنهاست که در این تحقیق سعی شد با اخذ مجموعاً ۸ تصویر در بازه زمانی ۱۵ ساله این مشکل تا حدودی مرتفع گردد (Petroopoulos & Carlson, 2011; Zhang *et al.*, 2014).

از آنجایی که در تعریف بیابان در این تحقیق، مقرر شد که عدم وجود پوشش گیاهی و رطوبت خاک بیابان در نظر گرفته شود، پس برای ارزیابی میزان افزایش بیابان و بررسی بحث بیابان‌زایی، مجموع تغییرات کلاس پوشش گیاهی و خاک مرطوب که تبدیل به بیابان شده است، نشان دهنده میزان بیابان‌زایی در این بازه ۱۵ ساله بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف پایش بیابان‌زایی مبتنی بر شاخص‌های رطوبت خاک در منطقه دشت قزوین انجام شد. همانطور که در بخش مواد و روش‌های این مقاله اشاره گردید، روش‌های ارائه شده در پیشینه تحقیق به منظور تخمین رطوبت خاک براساس داده‌های سنجش از دور به چهار دسته روش‌های نوری، مایکروویو غیرفعال، مایکروویو فعال و روش‌های ترکیبی تقسیم بندی شده‌اند که هر یک از این روش‌ها از مزایا و معایب خاصی برخوردارند (Zhang & Zhou, 2016; Minacapilli *et al.*, 2009; Qin *et al.*, 2013). در این تحقیق با توجه به دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای لندست که دارای باندهای طیفی در محدوده مرئی و فروسرخ حرارتی می‌باشند، از یک روش ترکیبی

طبیعی پایدار، که یکی از ارکان مهم توسعه پایدار در هر کشوری است، باید به مسأله بیابان‌زایی در مناطقی از این دست توجه ویژه‌ای شود و راهکارهای لازم برای جلوگیری از روند پیشرفت بیابان‌زایی در این گونه مناطق اتخاذ گردد. در غیر این صورت در چند دهه آینده کل منطقه تبدیل به بیابان شده و غیرقابل کشت و استفاده بهینه می‌شود، که این مسأله برای کشور ما از لحاظ تولید محصولات کشاورزی و اقتصادی بسیار هزینه بر و مشکل آفرین خواهد بود. بنابراین، لازم است قبل از رخ داد فاجعه پیش رو به علاج آن پرداخته شود تا بتوان منابع ملی را برای نسل‌های آینده حفظ کرد. در این راستا، برای پایش دائم منطقه می‌توان از پیشرفت‌های علم سنجش از دور استفاده کرد.

همان طور که از نتایج این تحقیق برمی‌آید، تغییرات کلاس‌های پوشش گیاهی و خاک مرطوب و سایر عوارض منفی است، که نشان دهنده کاهش مقدار این کلاس‌ها است. میزان کاهش کلاس پوشش گیاهی و خاک مرطوب بسیار زیاد است (در مجموع به میزان ۱۰۱۲۷۶۸۷ مترمربع) که تقریباً برابر مقدار افزایش کلاس بیابان (۱۰۱۴۷۴۱۴ مترمربع) است. این امر نشان دهنده تبدیل کلاس‌های پوشش گیاهی و خاک مرطوب به کلاس بیابان است. کلاس سایر عوارض با کمی کاهش، تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. نتیجه نهایی حاصل از انجام این تحقیق، نشان می‌دهد که در طی ۱۵ سال اخیر منابع آبی و پوشش گیاهی در منطقه دشت قزوین به تدریج از بین رفته و تبدیل به بیابان شده است. پس برای داشتن طبیعت و منابع

References

Anne, N., Abd-Elrahman, A., Lewis, D., Hewitt, N., 2014. Modeling soil parameters using hyperspectral image reflectance in subtropical coastal wetlands. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinform* 33, 47-56.

Bartsch, A., Trofaier, A., Hayman, G., Sabel, D., Schlaffer, S & Clark, D., 2012. Detection of open water dynamics with ENVISAT ASAR in support of land surface modelling at high latitudes. *Biogeosciences* 9(2), 703-714.

Carlson, T., Dodd, J., Benjamin, S., Cooper, J., 1981. Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 20(1), 67-81.

De Jeu, R., Holmes, T., Parinussa, R., Owe, M., 2014. A spatially coherent global soil moisture product with improved temporal resolution. *Journal of Hydrology* 516, 284-296.

Filion, R., Bernier, M., Paniconi, C., Chokmani, K., Melis, M., Soddu, A., Talazac, M., Lafortune,

F.X., 2016. Remote sensing for mapping soil moisture and drainage potential in semi-arid regions: Applications to the Campidano plain of Sardinia. *Science of the Total Environment* 543. 862-876, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.068.

Kuncheva, L., 2014. Combining Pattern Classifiers methods and algorithms. Wiley publication, ISBN: 978-1-118-31523-1, 384.

Liu, Y., Dorigo, W., Parinussa, R., De Jeu, R., Wagner, W., McCabe, M., 2012. Trend-preserving blending of passive and active microwave soil moisture retrievals. *Remote Sensing of Environment* 123, 280-297.

Minacapilli, M., Agnese, C., Blanda, F., Cammalleri, C., Ciruolo, G., Urso, G., Iovino, M., Pumo, D., Provenzano, G., Rallo, G., 2009. Estimation of actual evapotranspiration of Mediterranean perennial crops by means of remote sensing based surface energy balance models. *Hydrology and Earth system sciences* 13, 1061-1074.

- Narayan, U., Lakshmi, V., Jackson, T., 2006. High-resolution change estimation of soil moisture using L-band radiometer and radar observations made during the SMEX02 experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44, 1545-1554.
- Owe, M., Jeu, R., Walker, J., 2001. A methodology for surface soil moisture and vegetation optical depth retrieval using the microwave polarization difference index. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39, 1643-1654.
- Pan, M., Sahoo, A., Wood, E., 2014. Improving soil moisture retrievals from a physically-based radiative transfer model. *Remote Sensing of environment* 140, 130-140.
- Prieto-Amparan, J., Villarreal-Guerrero, F., Martinez-Salvador, M., Manjarrez-Domínguez, C., Santellano-Estrada, E., Pinedo-Alvarez, A., 2018. Atmospheric and Radiometric Correction Algorithms for the Multitemporal Assessment of Grasslands Productivity. *Remote Sensing* 10, 219.
- Petropoulos, G., Carlson, T., 2011. Retrievals of turbulent heat fluxes and soil moisture content by Remote Sensing. In *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Application*, CRC press, 469-502.
- Qin, J., Yang, K., Lu, N., Chen, Y., Zhao, L., Han, M., 2013. Spatial upscaling of in-situ soil moisture measurements based on MODIS-derived apparent thermal inertia. *Remote Sensing of Environment* 138, 1-9.
- Rezaee, M., Karami, Gh., Monfared, N., 2017. Geographical Concepts, Foundations and Strategies for Combating Desertification with Emphasis on Sustainable Human Development. *Quarterly Journal of Geography (Regional Planning)* 7, 167-192 (In Persian).
- Samadzadegan, F. Tabib Mahmoudi, F, Bigdeli, B. "Data fusion in remote sensing concepts and techniques", Tehran, Tehran university press, 2014.
- Tabib mahmoudi, F., 2014. Decision level fusion based on multi views object based image analysis for object recognition in urban areas. PhD Thesis, university of Tehran.
- Vereecken, H., Huisman, J., Pachepsky, Y., Montzka, C., van der Kruk, J., Bogena, H., Weihermüller, L., Herbst, M., Martinez, G., Vanderborght, J., 2014. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. *Journal of Hydrology* 516, 76-96.
- Zhang, D., Zhou, G., 2016. Estimation of soil moisture from optical and thermal remote sensing: a review. *Sensors* 16, doi:10.3390/s16081308.
- Zhang, D., Tang, R., Zhao, W., Tang, B., Wu, H., Shao, K., 2014. Surface soil water content estimation from thermal remote sensing based on the temporal variation of land surface temperature. *Remote Sens* 6, 3170-3187.
- Zhao, H., 2009. Effect of desertification on organic C and N content in study farmland and grassland of Inner Mongolia. *Catena* 77, 187-191.