

بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی متأثر از تپه‌های ماسه‌ای در شرق شهر بشرویه با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

منصور جعفر بگلو* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
سامان نادى‌زاده شورابه - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
کامیار امامی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.
فاطمه مرادی پور - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای فعال و متحرک از جمله تهدیدات جدی اجتماعات انسانی مجاور می‌باشند. بنابراین تعیین چگونگی گسترش و میزان فعالیت و جابه‌جایی این تپه‌های از مهم‌ترین اهداف مطالعات فرسایش بادی است. استفاده از فناوری سنجش از دور به دلیل دید یکپارچه، کم هزینه و سریع یک روش کارآمد برای مطالعه و پایش تغییرات محیطی محسوب می‌شود. بنابراین از اهداف اصلی این تحقیق بررسی میزان تغییرات و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در شرق شهر بشرویه، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه تا سال ۲۰۳۱ و پیش‌بینی تغییرات مساحت کاربری تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۲۰۴۸ با استفاده از سنجش از دور می‌باشد. در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ استفاده شده است. برای طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است. در مرحله‌ی بعد تغییرات ایجاد شده در کاربری‌های اراضی با استفاده از مدل کراس‌تب مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از روش زنجیره‌ی مارکوف، روند تغییرات آینده‌ی کاربری اراضی تا سال ۲۰۳۱ و تغییرات مساحت کاربری تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۲۰۴۸ مورد پیش‌بینی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر این است که وسعت زمین‌های ماسه‌ای از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ روند کاهشی داشته است؛ که مهم‌ترین علت آن اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی در قالب تاغ‌کاری و رویش طبیعی تاغ روی تپه‌های ماسه و نواحی اطراف آن بوده است. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای ۱۵ سال آینده نشان داد که ۲۴۶۸/۷۹ هکتار از تپه‌های ماسه‌ای به کاربری اراضی بایر و شورزار، ۳۶۵/۲۲ هکتار به اراضی زراعی و ۹۰۰ هکتار به اراضی ساخته‌شده تبدیل خواهد شد. از دیگر نتایج این پژوهش پیش‌بینی مساحت تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۲۰۴۸ می‌باشد که نشان داد مساحت تپه‌های ماسه‌ای از ۸۶۶۸/۲۶ هکتار در سال ۲۰۱۶ به مساحتی برابر ۴۰۴۱/۳۶ هکتار خواهد رسید.

واژگان کلیدی: پایش مکانی-زمانی، تپه‌های ماسه‌ای، زنجیره مارکوف، سنجش از دور، بشرویه.

مقدمه

بیش از دو سوم مساحت ایران را اراضی خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد. فقر پوشش گیاهی به باد این اجازه را می‌دهد که به راحتی بر سطح خاک کاوش کرده و مقادیر فراوانی از خاک سطحی را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر حمل کند (معماریان خلیل‌آباد و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۶). اهمیت مطالعه‌ی تپه‌های ماسه‌ای به علت تأثیراتی است که بر روی منابع آب و خاک، حیات گیاهی و جانوری و تأسیسات و راه‌های ارتباطی دارند (رامشت و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۲). تغییر اقلیم نیز به صورت افزایش خشکی ناشی از دماهای زیاد، کمبود پوشش گیاهی و خشکسالی‌های مکرر منجر به حرکت یا گسترش تپه‌های ماسه‌ای در جهات مختلف و با سرعت‌های متفاوت می‌شود که زندگی و فعالیت‌های انسانی، بهداشتی و حمل و نقل را تهدید می‌کند (رداستیر^۱ و همکاران، ۲۰۰۱: ۱؛ هرماس^۲ و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۱). تصاویر سنجنش از دور به دلیل پوشش وسیع و پیوسته، بهنگام بودن و توانایی کسب اطلاعات در محدوده انعکاسی امواج الکترو مغناطیس، منبع اطلاعاتی مناسبی برای کاربردهای بسیاری برای بررسی دقیق تغییرات محیطی و کاربری اراضی مناطق شهری و غیر شهری دارند (ووگت و اوکی^۳، ۲۰۰۳: ۳۷۱؛ جیمز و سوبرینو^۴، ۲۰۰۳: ۳؛ جیمز و سوبرینو، ۲۰۱۰: ۱۷۷؛ ونگ^۵، ۲۰۰۹: ۳۳۷).

از جمله تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در جهان و ایران می‌توان به این موارد اشاره کرد: به عنوان نمونه در جهان پیز و همکاران^۶ (۱۹۹۹)، با مطالعه‌ی تپه‌های ماسه‌ای و شناسایی مسیر انتقال آن‌ها با استفاده از داده‌های لندست در کشور عمان بدین نتیجه رسیده‌اند که این داده‌های ماهواره‌ای در تفسیر و شناخت ژئومورفیک بیابان، محیط‌های رسوب‌گذاری بادی و جداسازی این محیط‌های رسوبی از نظر مینرالوژیک بسیار مفید و مؤثر است. الحارثی^۷ (۲۰۰۲)، در تحقیقی با عنوان ارزیابی خطرات تپه‌های ماسه‌ای بین جده و الیته در غرب عربستان سعودی، پس از بررسی جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای، مخاطرات این تپه‌های ماسه‌ای در جاده‌ها، ساختمان‌ها و روستاها را مورد بررسی قرار داده است. ها- ژائو و همکاران^۸ (۲۰۰۶)، به بررسی اثرات ماسه‌های روان بر روی خاک‌های اراضی کشاورزی هورگین مغولستان پرداخته‌اند؛ نتایج این پژوهش حاکی از آن است که ماسه‌های روان و فرسایش بادی در طولانی مدت باعث ناباروری خاک می‌شود. هوجن‌هولتز و همکاران^۹ (۲۰۱۰)، نیز به بررسی اثرات زیست‌محیطی تثبیت تپه‌های ماسه‌های روان در دشت‌های جنوب کانادا پرداخته‌اند؛ نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد روند فعلی تثبیت ماسه‌های روان موجب کاهش فرسایش بادی شده است. لنگفورد و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۶)، جابه‌جایی و اختلاط شن‌ها و ماسه‌های بادی محلی را در نیومکزیکو بررسی کرده‌اند؛ نتایج تحقیق آن‌ها نشان داده است که اختلاط شن‌های مربوط به مناطق مختلف و جابه‌جایی آن‌ها در مسیر باد توسط فرایندهای رسوبی متفاوت، بیشتر مربوط به اندازه‌ی توزیع دانه در دشت شنی می‌باشد. مقصودی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی الگوهای مهاجرتی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداختند. نتیجه گرفتند که در منطقه مورد مطالعه بادهای جهت شمال شرقی منجر به بی‌نظمی در مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای شده است که سبب مهاجرت تپه‌های ماسه‌ای به جنوب غربی شده است.

¹ Redsteer

² Hermas

³ Voogt and Oke

⁴ Jiménez and Sobrino

⁵ Weng

⁶ Pease et al

⁷ Al-Harathi

⁸ Zhao

⁹ Hugenholtz et al

¹⁰ Langford et al

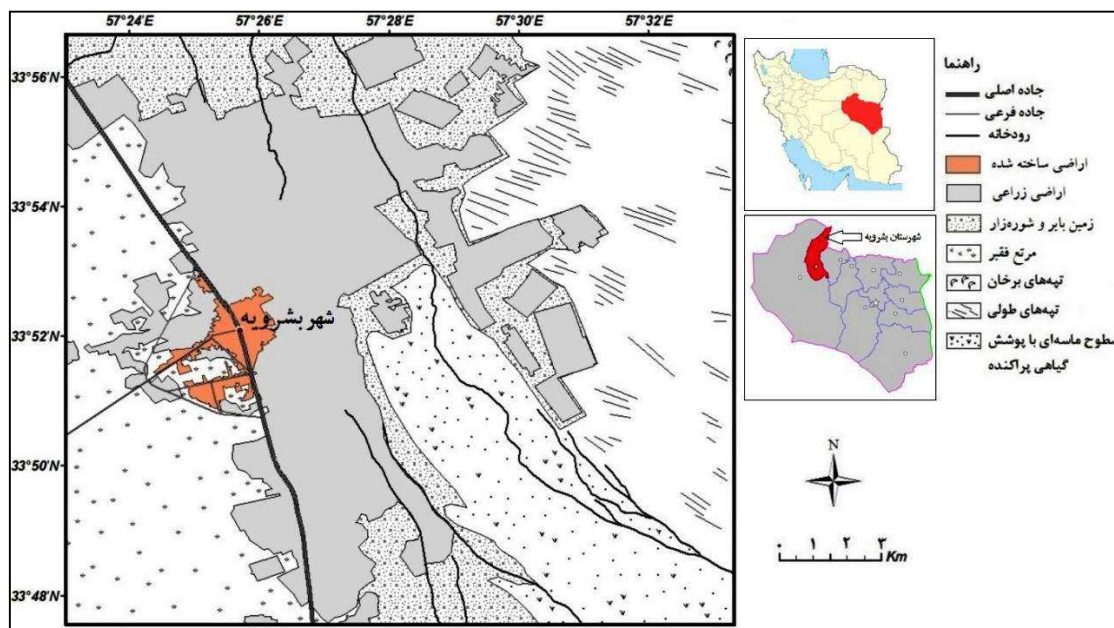
در ایران نیز یمانی (۱۳۷۹)، در تحقیقی با استفاده از روش دانه‌سنجی ذرات ماسه به مطالعه‌ی ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه‌ی بندریگ کاشان پرداخته و به این نتیجه رسیده است که تنها در نمونه‌های حاشیه‌ی شمال شرقی منطقه‌ی بررسی شده به دلیل توپوگرافی مساعد و عدم دخالت‌های انسانی، بین سرعت‌های آستانه با دامنه‌ی دانه‌بندی، همبستگی نسبتاً قابل قبولی دیده می‌شود. غریب‌رضا و معتمد (۱۳۸۲)، در تحقیقی با استفاده از عکس‌های هوایی به بررسی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای منطقه‌ی ساحلی سیستان و بلوچستان پرداخته‌اند؛ حاصل این بررسی تهیه‌ی نقشه‌های پراکنش انواع تپه‌های ماسه‌ای بوده است. مقصودی (۱۳۸۵)، با استفاده از عملیات میدانی و بررسی عکس‌های هوایی، به مطالعه‌ی فرایندهای مؤثر بر توسعه‌ی عوارض ماسه‌ای پرداخته است. بر اساس نتایج تحقیق وی، توسعه‌ی اشکال بادی در مناطقی که منشأ رسوبات آن سیلاب‌های صفحه‌ای است به حداکثر می‌رسد. رامشت و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۳ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS پرداختند. نتیجه تحقیق نشان داد که مساحت تپه‌های ماسه‌ای در محدوده زمانی مورد مطالعه افزایشی معادل ۱۰/۱۶۹ کیلومترمربع داشته است.

با توجه به این که تپه‌های ماسه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه، در مجاورت مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند، کوچکترین تغییر در ماهیت و دینامیک آن‌ها، می‌تواند اثرات جزئی یا چشمگیر نسبتاً پایداری بر جوامع محلی واقع در این مناطق برجای بگذارد. مسائل مربوط به طوفان شن نظیر شیوع بیماری‌ها به واسطه‌ی انتقال عوامل بیماری‌زا، اختلال در حمل و نقل، خسارت به مناطق مسکونی و از بین رفتن احشام از جمله‌ی این اثرات می‌باشد. با توجه به خسارات چشمگیر حرکت و گسترش تپه‌های ماسه‌ای و کاربرد گسترده سنجش از دور در روندیابی این تغییرات، اهداف اصلی این تحقیق شامل بررسی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۲۰۳۱ و پیش‌بینی تغییرات مساحت تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۲۰۴۸ می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در راستای پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی تپه‌های ماسه‌ای و تعیین اقدامات مدیریتی مناسب برای کنترل و کاهش خسارات احتمالی به سایر کاربری‌های موجود در منطقه و همچنین ارزیابی کارایی طرح‌های بیولوژیکی بیابان‌زدایی اجرا شده در منطقه، مورد استفاده قرار گیرد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد بررسی، تپه‌هایی ماسه‌ای شرق شهر بشرویه در استان خراسان جنوبی می‌باشد. موقع جغرافیایی منطقه بین ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. شهرستان‌های فردوس و گناباد در شمال شرقی محدوده‌ی مورد بررسی و شهر طبس در جنوب شرق آن قرار دارند. بیشترین و کمترین ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۰۱۸ و ۸۴۷ متر می‌باشد. آب و هوای منطقه خشک و کویری است. حداکثر و حداقل مطلق درجه حرارت هوا در ایستگاه بشرویه ۴۸ و ۲۱- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. بارندگی در این منطقه بیشتر از اوایل آبان‌ماه شروع می‌شود و حداکثر تا نیمه‌ی اردیبهشت ادامه دارد. متوسط بارندگی در این منطقه ۹۶/۱۱ میلی‌متر در سال می‌باشد (سایت شهرداری بشرویه، ۱۳۹۵). جهت غالب زهکشی منطقه عمدتاً شمال غربی- جنوب شرقی است که با الگوی درختی غالباً به نمک‌زارهای مرکزی محدوده‌ی بررسی ریخته می‌شود (نقشه‌ی زمین‌شناسی بشرویه، ۱:۲۵۰۰۰۰). منطقه‌ی مورد بررسی از نظر زمین‌شناسی عمدتاً از ریگزارها، پهنه‌های نمکی و مخروط‌های گراولی تشکیل شده است (نقشه‌ی زمین‌شناسی بشرویه، ۱:۲۵۰۰۰۰). شکل (۱) موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

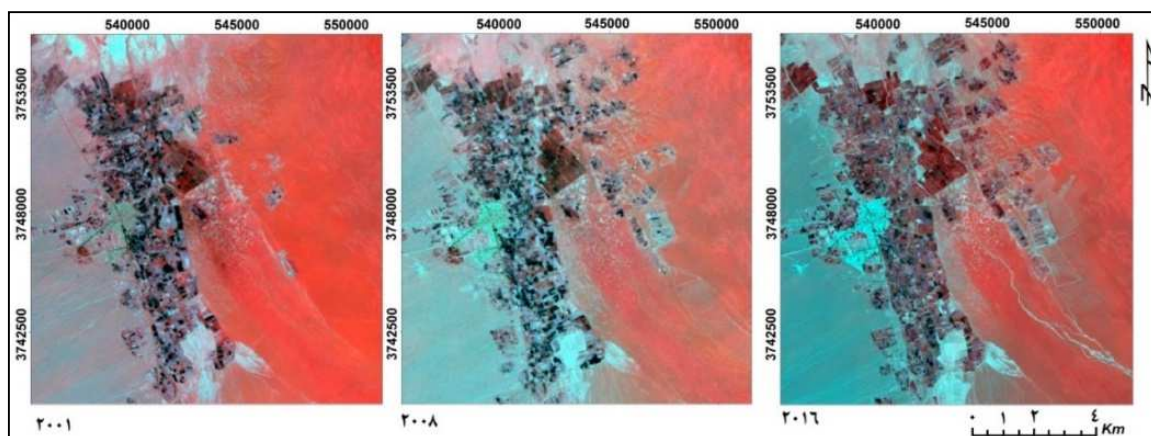


شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش

۳-۱- داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

برای بررسی تغییرات مورفولوژیکی ایجاد شده در تپه‌های ماسه‌ای در بازه‌ی زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۶) از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده‌های TM5، ETM+ و OLI استفاده شده است (شکل ۲). جدول (۱) اطلاعات مربوط به تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از نقشه‌ی توپوگرافی و داده‌های مربوط به Google Earth استفاده شده است. همچنین برای تفسیر، پردازش و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI، EDRISI و ERDAS استفاده شده است.



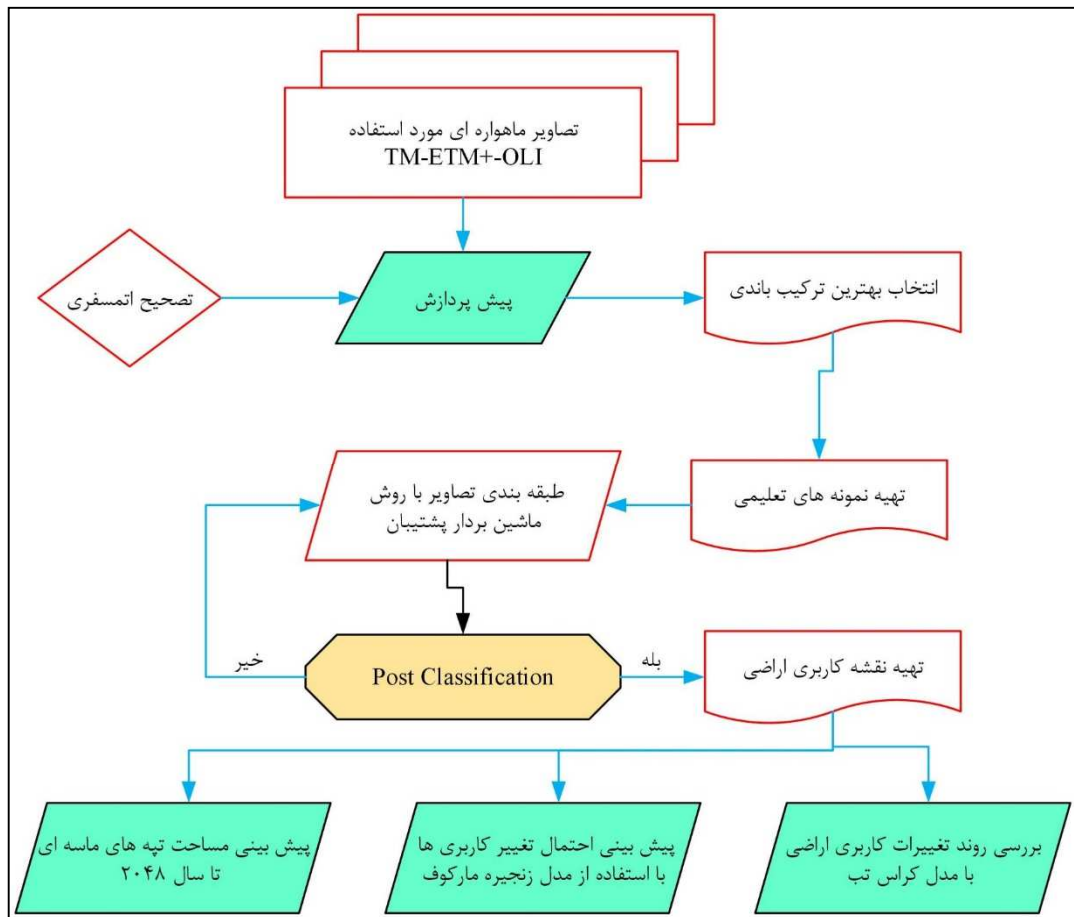
شکل ۲. تصاویر مورد استفاده برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده

سنجنده	گذر/ردیف	تعداد باندها	باندهای مورد استفاده	قدرت تفکیک مکانی	تاریخ
TM5	۱۶۰/۳۷	۷	۱ تا ۷	۳۰ متر	۲۰۰۱/۰۷/۰۹
ETM+	۱۶۰/۳۷	۸	۱ تا ۷	۳۰ متر	۲۰۰۸/۰۷/۲۰
OLI	۱۶۰/۳۷	۱۱	۱ تا ۷	۳۰ متر	۲۰۱۶/۰۶/۲۴

۳-۲- روش تحقیق

تصاویر مورد استفاده با استفاده از روش FLAASH تصحیح اتمسفری شدند. برای طبقه‌بندی تصاویر بعد از انتخاب باندهای مناسب، نمونه‌های تعلیمی گرفته شد و سپس تصویر طبقه‌بندی تصاویر تهیه گردید. بعد از طبقه‌بندی، ارزیابی دقت طبقه‌بندی صورت گرفت و در نهایت بررسی روند تغییرات با استفاده از مدل کراس‌تب^۱ و مدل‌ساز تغییر کاربری^۲ و پیش‌بینی تغییرات با استفاده از زنجیره مارکوف^۳ انجام شد. مراحل اصلی تحقیق در شکل (۳) آمده است.



شکل ۳. فلوچارت مراحل اصلی تحقیق

¹ Crosstab

² Land Change Modeler

³ Markov Chain

۱-۲-۳- پیش‌پردازش

به‌منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتریکی داده‌ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. در این پژوهش بنابر اینکه تصاویر موجود در سایت زمین شناسی آمریکا با خطای کمتر از ۱۲ متر زمین مرجع هستند از تصحیح هندسی این تصاویر صرف نظر شده است. با توجه به اهمیت تأثیر اثرات رادیومتریکی و جوی بر نتایج نهایی بررسی تغییرات کاربری اراضی تمام تصاویر با استفاده از الگوریتم تصحیح اتمسفری FLAASH تصحیح شدند. این الگوریتم از مدل عبور اتمسفری MODTRAN4 برای تصحیح اتمسفری استفاده می‌کند که اطلاعاتی جانبی مانند زمان عبور ماهواره، ارتفاع سنجنده، موقعیت جغرافیایی منطقه، زاویه تابش خورشید و مدل اتمسفری منطقه را بکار می‌برد.

۲-۲-۳- انتخاب بهترین ترکیب باندی

جهت به‌دست آوردن بهترین ترکیب باندی برای طبقه‌بندی از ضریب شاخص مطلوبیت^۴ استفاده شده است. این شاخص براساس همبستگی و واریانس بین باندها به انتخاب بهترین ترکیب سه‌گانه از باندها می‌پردازد. در واقع ترکیب‌های باندی که OIF بالاتری دارند، دارای اطلاعات (انحراف معیار) و تکرار کم (هم بستگی کم بین باندها) می‌باشند (علوی‌پناه، ۱۳۸۷). مقدار OIF از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 SD_i}{\sum_{j=1}^3 |CC_j|} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\sum_{i=1}^3 SD_i = \text{مجموع انحراف معیارهای سه باند}$$

$$\sum_{j=1}^3 |CC_j| = \text{مجموع قدر مطلق ضرایب هم‌بستگی بین ۲ باند از ۳ باند}$$

۳-۲-۳- تهیه نمونه‌های تعلیمی

اساساً طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور فرآیند مشکلی است، زیرا بیشتر روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده نیازمند داده‌های تعلیمی به اندازه‌ی کافی بزرگ هستند (چی و همکاران^۵، ۲۰۰۸: ۱۷۹۴). از طرفی، نحوه‌ی انتخاب نمونه‌های تعلیمی نیز یکی از مهمترین عوامل در طبقه‌بندی پیکسل‌ها است (پائولو و شاوونگرت^۶، ۱۹۹۵: ۳۰۵۰). برای رسیدن به دقت بهتر این عامل می‌تواند حتی از انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی نیز مهم‌تر باشد (هیگسون و همکاران^۷، ۱۹۸۰: ۵۷). بنابراین به منظور تهیه‌ی نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر سال‌های موردنظر، با توجه به اینکه اطلاعات زمینی در دسترس نبود، با تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب برای هر تصویر تهیه و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی نمونه‌هایی که معرف بازتاب کاربری و پوشش‌های مورد نظر بودند، انتخاب گردید.

۴-۲-۳- طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی تصاویر را می‌توان مهم‌ترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای شمرد (سریواستاوا و گوپتا^۸، ۲۰۰۳: ۳). برای این کار از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۹ استفاده شد. ماشین بردار پشتیبان یک روش کلاسه‌بندی الگو است که اولین بار توسط ویبینگ معرفی شد (برجز^{۱۰}، ۱۹۹۸: ۱۲۸). این روش یکی از روش‌های طبقه‌بندی غیرپارامتریکی نظارت شده بر

⁴ Optimum Index Factor

⁵ Chi et al

⁶ Paola and Schowengerdt

⁷ Hixon et al

⁸ Srivastava & Gupta

⁹ Support Vector Machines

¹⁰ Burges

مبنای نظریه‌ی یادگیری آماری^{۱۱} است (گیو و شنگ^{۱۲}، ۲۰۱۷: ۱۲۴۶). از جمله قابلیت‌های آن، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیرخطی داده‌های آموزشی است. در این حالت با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بعد بزرگ‌تر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک‌پذیری بهتر انجام می‌شود. عمومی‌ترین کرنل‌ها، خطی، چندجمله‌ای، حلقوی و پایه‌ی شعاعی هستند (واندرلیندن و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۹: ۱۲). در این پژوهش کرنل پایه‌ی شعاعی با توجه به استفاده وسیع در مطالعات تغییر کاربری اراضی با داده‌های ماهواره‌ای مختلف و همچنین عملکرد بهتر نسبت به کرنل‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفت (همان).

۵-۲-۳- معیارهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی

ارزیابی نتایج دقت طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی است. برای ارزیابی دقت نتیجه‌ی طبقه‌بندی از اطلاعات حاصل از شناخت کامل نگارنده نسبت به منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و Google Earth استفاده شده است. در این تحقیق به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی به شرح زیر استفاده شده است:

ماتریس خطا^{۱۴}: ارزیابی خطا و برآورد دقت طبقه‌بندی معمولاً براساس پارامترهای آماری است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ماتریس خطا حاصل مقایسه‌ی پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (در واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹: ۲۳۳). به منظور درستی ایجاد ماتریس خطا باید عواملی مانند جمع‌آوری داده‌های مرجع، طبقه‌بندی، روش‌های نمونه‌برداری، واحد همبستگی فضایی و حجم و واحد نمونه را در نظر گرفت (ساتایر و ببرگالا^{۱۵}، ۲۰۱۲: ۴۴).

دقت کلی^{۱۶}: دقت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد (همان).

دقت تولیدکننده^{۱۷} و کاربر^{۱۸}: این دو معیار ارزیابی دقت با استفاده از ماتریس خطا به دست می‌آیند. دقت تولیدکننده احتمال اینکه طبقه‌بندی کننده، پیکسلی را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد در صورتی که کلاس واقعی آن مشخص باشد، را بیان می‌کند. در صورتی که دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. (اکبری و شکاری، ۱۳۹۲: ۵۵).

ضریب کاپا^{۱۹}: یکی دیگر از پارامترهای دقت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹: ۲۳۶)، به نقل از (ریچاردز^{۲۰}، ۱۹۹۵).

۶-۲-۳- بررسی روند تغییرات

برای بررسی و تحلیل دقیق تغییرات روی داده‌ها از مدل کراس تب در نرم‌افزار EDRISI استفاده شده است. ورودی‌های مدل، تصاویر طبقه‌بندی شده‌ی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ می‌باشد. در مدل کراس تب هم محاسبه تعداد پیکسل‌های

¹¹ Statistical Learning Theory

¹² Gu and Sheng

¹³ Van der linden et al

¹⁴ Confusion Matrix

¹⁵ Satir and Berberoglu

¹⁶ Overall Accuracy

¹⁷ Producer's Accuracy

¹⁸ User's Accuracy

¹⁹ Kappa Coefficient

²⁰ Richards

که بین دو تاریخ تصویربرداری، تغییر یافته امکان‌پذیر شده و هم می‌توان ماهیت تغییرات اراضی را مشخص کرد. همچنین برای تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات کاربری تپه‌های ماسه‌ای از مدل‌ساز تغییر کاربری (LCM) در نرم‌افزار DRISI استفاده شده است. این مدل تجزیه و تحلیلی از تغییرات کاربری اراضی و روند آن‌ها را فراهم می‌کند.

۷-۲-۳- پیش‌بینی روند تغییرات

جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و میزان گسترش فیزیکی، روش ریاضی و احتمالی زنجیره‌ی مارکوف استفاده شد. در این مدل همواره از دو نقشه‌ی رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل هستند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله‌ی زمانی بین دو تصویر و فاصله‌ی زمانی پیش‌بینی نیز در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. بر اساس احتمال شرطی قانون بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (جیانگ^{۲۱} و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۱۷؛ یانگ^{۲۲} و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۱۵).

$$s(t+1) = p_{ij} \times s(t) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۱)، $s(t)$ و $s(t+1)$ حالت‌های سیستم در زمان t و $t+1$ هستند و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$(0 \leq p_{ij} \leq 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, \dots, n))$$

خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است.

۴- بحث و یافته‌ها

۴-۱- انتخاب بهترین ترکیب بانندی

با در نظر گرفتن تفکیک‌پذیری باندها و ضریب شاخص مطلوبیت، باندهای مناسب برای ایجاد تصویر رنگی کاذب و طبقه‌بندی برای تصویر TM، ETM+ و OLI انتخاب گردید (جدول ۲).

جدول ۲. باندهای مناسب برای طبقه‌بندی براساس OIF

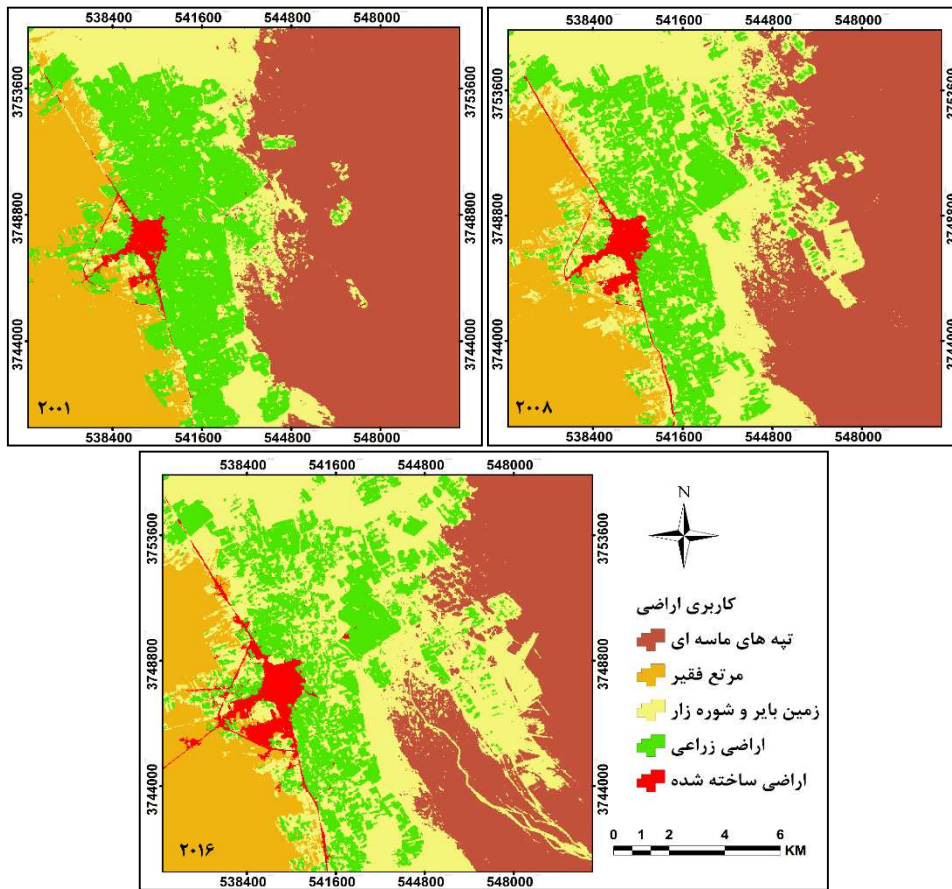
باندهای مناسب	نوع سنجنده
۱-۴-۷	TM
۱-۴-۷	ETM+
۲-۵-۷	OLI

۴-۲- آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

با توجه به کاربری‌های موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه، محدوده با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان به ۵ نوع کاربری زمین زراعی، زمین بایر و شوره‌زار، مناطق ساخته شده، تپه‌های ماسه‌ای و مرتع فقیر طبقه‌بندی شد (شکل ۴).

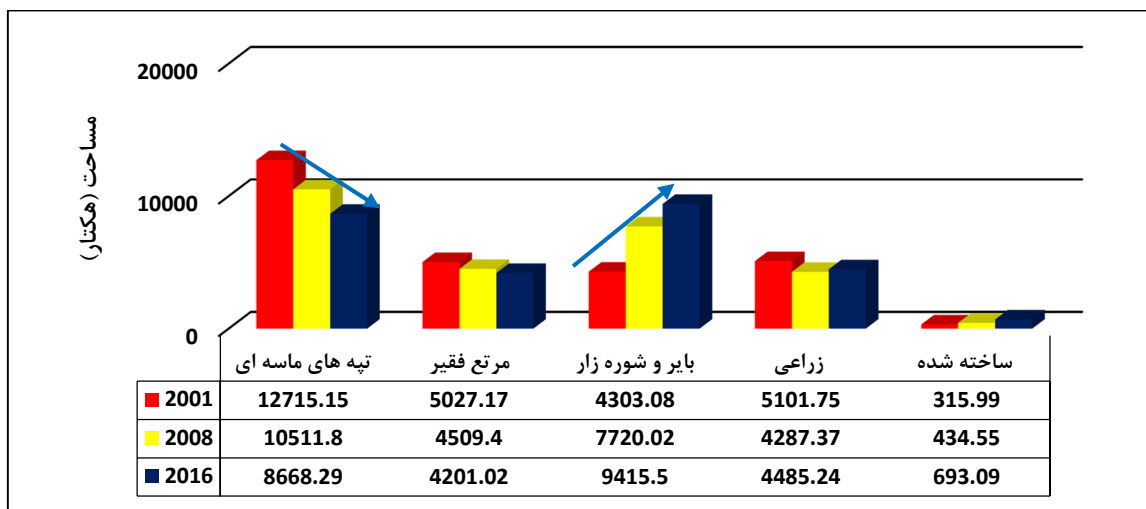
^{۲۱} Jiang

^{۲۲} Yang



شکل ۴. نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه (در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶)

با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده، اطلاعات آماری مربوط به هر کلاس کاربری اراضی استخراج شد. مساحت کاربری - های اراضی برای دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶ به صورت شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵. مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۶

با توجه به شکل (۵) کاربری بایر و شوره‌زار و ساخته شده دارای روند افزایشی می‌باشند. به طوری که کاربری بایر و شوره‌زار از مساحت ۴۳۰۳/۰۸ هکتار در سال ۲۰۰۱ به ۹۴۱۵/۵ هکتار در سال ۲۰۱۶ رسیده است

همچنین کاربری ساخته شده از مساحت ۳۱۵/۹۹ هکتار در سال ۲۰۰۱ به ۶۹۳/۰۹ هکتار در سال ۲۰۱۶ رسیده است. در بازه زمانی مورد مطالعه کاربری تپه‌های و مرتع فقیر داری روند کاهشی بوده‌اند. به طوری که مساحت تپه‌های ماسه‌ای از ۱۲۷۱۵/۱۵ هکتار در سال ۲۰۰۱ به ۸۶۶۸/۲۹ هکتار در سال ۲۰۱۶ کاهش یافته است. علت اصلی روند کاهشی تپه‌های ماسه‌ای مربوط به طرح‌های بیابان‌زدایی اجرا شده در قالب تاغ کاری در سال‌های گذشته و همچنین رویش طبیعی تاغ روی تپه‌های ماسه‌ای و نواحی اطراف آن بوده است و اثرات مثبت طرح‌های بیولوژیکی بیابان‌زدایی را در تثبیت تپه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد. مساحت کاربری زراعی تغییرات چندانی نداشته و مساحت آن به صورت نوسانی در حال تغییر بوده است.

۳-۴- ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی

جدول (۳) ماتریس خطا و دقت طبقه‌بندی مربوط به نقشه‌های کاربری اراضی را نشان می‌دهد. بر اساس جدول، برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ صحت کلی به ترتیب برابر ۹۷/۷۵۰۵، ۹۷/۳۰۷۷ و ۹۸/۶۸۲۶ و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۰/۹۷۱۷، ۰/۹۶۶۳ و ۰/۹۸۳۵ می‌باشد. علاوه بر آن، دقت تولیدکننده و دقت کاربر برای هر کاربری استخراج گردیده است. در مجموع اعداد به دست آمده دقت زیاد طبقه‌بندی را نشان می‌دهند؛ که دلیل آن دقت در برداشت نمونه‌های تعلیمی می‌باشد. طبق نتایج جدول (۳) دقت تولیدکننده برای کاربری بایر و شوره‌زار و دقت کاربر برای کاربری تپه‌های ماسه‌ای پایین می‌باشد. که دلیل آن با شباهت طیفی این دو کاربری مرتبط است. همچنین اراضی زراعی به دلیل اینکه از نظر طیفی با کاربری‌های دیگر موجود در منطقه مورد مطالعه تفاوت زیادی دارد؛ به همین دلیل دقت طبقه‌بندی این کاربری به نسبت سایر کاربری‌ها بالاتر می‌باشد.

جدول ۳. ماتریس خطای نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶

سال	نوع کاربری	تپه‌های ماسه‌ای	مرتع فقیر	اراضی بایر و شوره‌زار	اراضی زراعی	اراضی ساخته شده	دقت تولید کننده	دقت کاربر
۲۰۰۱	تپه‌های ماسه‌ای	۳۱۲	۲	۲۲	۰	۲	۹۹/۶۸	۹۲/۳۰
	مرتع فقیر	۰	۲۱۱	۲	۰	۲	۹۸/۱۳	۹۸/۱۳
	زمین بایر و شوره‌زار	۰	۲	۲۸۴	۲	۴	۹۲/۵۶	۹۷/۹۵
	اراضی زراعی	۰	۰	۰	۲۸۴	۱	۹۹/۳	۹۹/۶۴
	اراضی ساخته شده	۳	۰	۱	۰	۱۹۱	۹۵/۵	۹۸/۴۵
	دقت کلی						۹۶/۶۴	
	ضریب کاپا						۰/۹۵۱۴	
۲۰۰۸	تپه‌های ماسه‌ای	۳۱۷	۳	۱۷	۰	۰	۹۹/۰۶	۹۴/۰۶
	مرتع فقیر	۳	۲۸۷	۰	۰	۰	۹۴/۰۹	۹۸/۹۶
	اراضی بایر و شوره‌زار	۰	۱۶	۲۸۹	۱	۱	۹۳/۲۲	۹۳/۵۲
	اراضی زراعی	۰	۰	۰	۲۱۰	۲	۹۹/۰۵	۹۹/۰۵
	اراضی ساخته شده	۰	۰	۴	۱	۳۰۹	۹۹/۰۳	۹۸/۴۰
	دقت کلی						۹۷/۰۰۱۷	

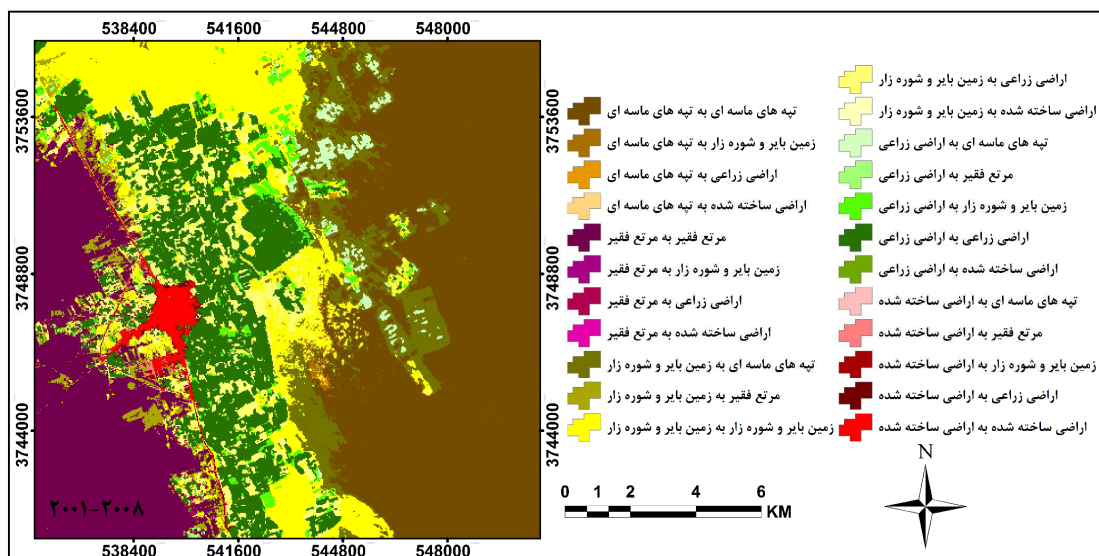
	۰/۹۶۵۴						ضریب کاپا	
۹۷/۸۲	۹۷/۸۲	۰	۰	۰	۸	۳۶۰	تپه‌های ماسه-ای	۹۰٪
۹۷/۱۳	۹۴/۴۲	۱	۰	۰	۳۰۵	۸	مرتع فقیر	
۹۳/۵۳	۹۹/۶۲	۷	۱	۲۶۰	۱۰	۰	اراضی بایر و شوره‌زار	
۱۰۰	۹۹/۴۴	۰	۲۹۸	۰	۰	۰	اراضی زراعی	
۹۹/۴۰	۹۷/۶۶	۳۳۴	۱	۱	۰	۰	اراضی ساخته شده	
	۹۷/۹۸۰۴						دقت کلی	
	۰/۹۶۸۱						ضریب کاپا	

۴-۴- بررسی تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی

برای بررسی میزان تغییرات کاربری‌ها از مدل کراس‌تب و مدل‌ساز تغییر کاربری استفاده شده است. براساس جدول (۴) می‌توان گفت که محدوده‌ی مطالعه از لحاظ تغییرات کاربری در محدوده‌ی زمانی اول (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸) چه مقدار تغییرات داشته است. نتیجه‌ی بررسی میزان تغییرات کاربری به صورت یک جدول ماتریسی می‌باشد که ستون‌های آن نشان‌دهنده تصویر طبقه‌بندی شده‌ی سال ۲۰۰۱ و ردیف آن نشان‌دهنده تصویر طبقه‌بندی شده‌ی سال ۲۰۱۶ می‌باشد. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸) در جدول ۴ و در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس جدول (۴) بیشترین تغییرات مربوط به کاربری تپه‌های ماسه‌ای و کاربری اراضی بایر و شوره‌زار می‌باشد که دارای روند افزایشی بوده و تپه‌های ماسه‌ای روند کاهشی داشته است.

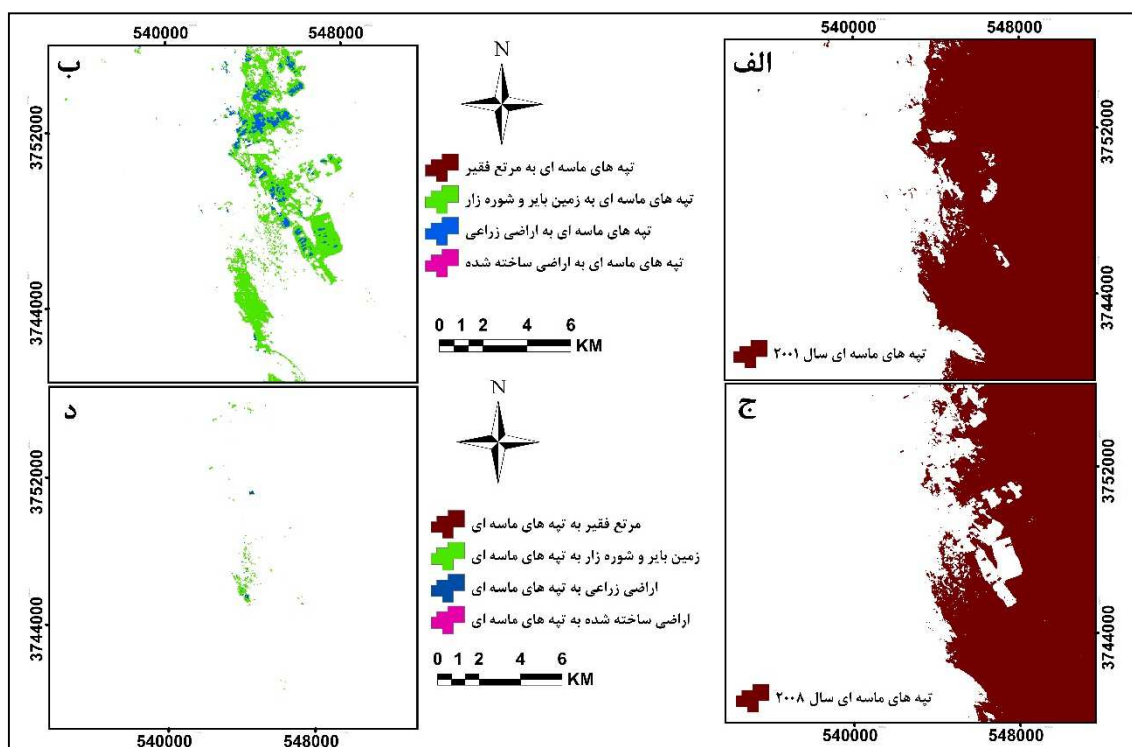
جدول ۴. جدول ماتریسی تغییرات کاربری اراضی محدوده‌ی مطالعه از سال ۲۰۰۸-۲۰۰۱ (هکتار)

مجموع سال ۲۰۰۸	اراضی ساخته-شده	اراضی زراعی	اراضی بایر و شوره‌زار	مرتع فقیر	تپه‌های ماسه‌ای	کاربری اراضی
۱۰۵۱۱/۹۱	۰/۲۷	۱۲/۶	۸۳/۰۷	۰	۱۰۴۱۵/۹۷	تپه‌های ماسه‌ای
۴۵۰۹/۳۶	۲/۰۷	۸۶/۴	۲۰/۱۶	۴۴۰۰/۷۳	۰	مرتع فقیر
۷۷۲۰/۰۲	۱۸/۵۴	۱۴۷۶/۵۴	۳۶۴۴/۱۹	۵۵۶/۳۸	۲۰۲۴/۳۷	اراضی بایر و شوره‌زار
۴۲۸۷/۳۳	۴/۲۳	۳۴۶۱/۵۸	۵۰۴/۲۷	۴۲/۶۶	۲۷۴/۵۹	اراضی زراعی
۴۳۴/۵۲	۲۹۰/۸۸	۶۴/۶۲	۵۱/۳۹	۲۷/۳۶	۰/۲۷	اراضی ساخته‌شده
۲۷۴۶۳/۱۴	۳۱۵/۹۹	۵۱۰۱/۷۴	۴۳۰۳/۰۸	۵۰۲۷/۱۳	۱۲۷۱۵/۲	مجموع سال ۲۰۰۱



شکل ۶. تغییرات کاربری اراضی منطقه‌ی مطالعه در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۸

بررسی روند تغییرات کاربری تپه‌های ماسه‌ای در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ روند کاهشی آن را نشان می‌دهد. به طوری که از مساحت ۱۲۷۱۵/۲ هکتار در سال ۲۰۰۱، ۲۰۲۴/۳۷ هکتار به اراضی بایر و شوره‌زار، ۲۷۴/۵۹ هکتار به اراضی زراعی و ۰/۲۷ به اراضی ساخته‌شده تبدیل شده است؛ که مساحت آن در سال ۲۰۰۸ به ۱۰۵۱۱/۹۱ هکتار رسیده است. همچنین در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه روند معکوس وجود داشته است به این صورت که ۸۳/۰۷ هکتار اراضی بایر و شوره‌زار، ۱۲/۶ هکتار اراضی زراعی و ۰/۲۷ هکتار اراضی ساخته شده به کاربری تپه‌های ماسه‌ای اضافه شده است (شکل ۷). اما به طور کلی روند کاهشی بیشتر از روند افزایشی بوده است.

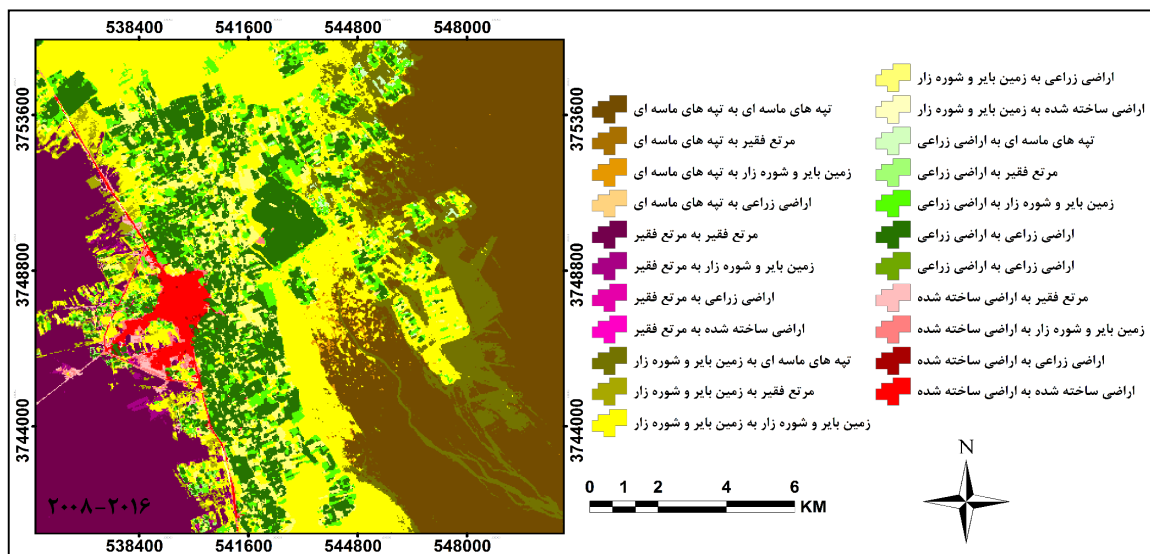


شکل ۷. (الف) تپه‌های ماسه‌ای سال ۲۰۰۱ (ب) تبدیل تپه‌های ماسه‌ای به سایر کاربری‌ها (ج) تپه‌های ماسه‌ای سال ۲۰۰۸ (د) تبدیل سایر کاربری‌ها به تپه‌های ماسه‌ای

جدول (۵) و شکل ۸ تغییرات کاربری اراضی را در بازه‌ی زمانی دوم (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶) نشان می‌دهد. طبق جدول ماتریسی باز هم تپه‌های ماسه‌ای روند کاهشی داشته‌اند به طوری که ۱۸۴۳/۶۵ هکتار که معادل ۱۷/۵۴ درصد از کل مساحت تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد، کاهش یافته است.

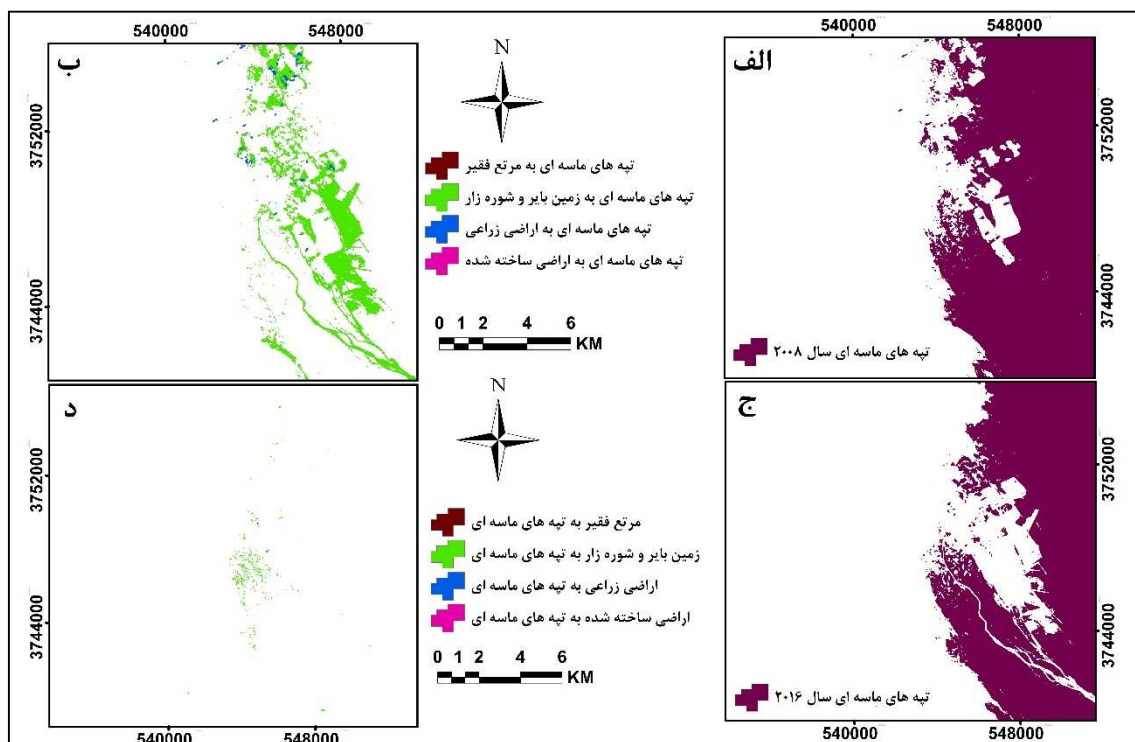
جدول ۵. جدول ماتریسی تغییرات کاربری اراضی محدوده‌ی مطالعه از سال ۲۰۱۶-۲۰۰۸ (هکتار)

مجموع سال ۲۰۱۶	اراضی ساخته‌شده	اراضی زراعی	اراضی بایر و شوره‌زار	مرتع فقیر	تپه‌های ماسه‌ای	کاربری اراضی
۸۶۶۸/۲۶	۰	۲/۳۴	۸۷/۶۶	۰/۰۹	۸۵۷۸/۱۷	تپه‌های ماسه‌ای
۴۲۰۱/۰۲	۱/۱۷	۱۲/۴۲	۱۳۲/۵۷	۴۰۵۴/۸۶	۰	مرتع فقیر
۹۴۱۵/۵۳	۲۲/۸۶	۱۱۹۰/۵۲	۶۰۱۷/۳۱	۳۱۹/۴۱	۱۸۶۵/۴۳	اراضی بایر و شوره‌زار
۴۴۸۵/۲۴	۹/۰۹	۳۰۴۴/۱۶	۱۳۱۳/۰۱	۵۰/۶۷	۶۸/۳۱	اراضی زراعی
۶۹۳/۰۹	۴۰۱/۴	۳۷/۸۹	۱۶۹/۴۷	۸۴/۳۳	۰	اراضی ساخته‌شده
۲۷۴۶۳/۱۴	۴۳۴/۵۲	۴۲۸۷/۳۳	۷۷۲۰/۰۲	۴۵۰۹/۳۶	۱۰۵۱۱/۹۱	مجموع سال ۲۰۰۸



شکل ۸. تغییرات کاربری اراضی منطقه‌ی مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۶

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات در بازه‌ی زمانی دوم (۲۰۰۸-۲۰۱۶) نشان می‌دهد که از مساحت ۱۰۵۱۱/۹۱ هکتار در سال ۲۰۰۸، ۱۸۶۵/۴۳ هکتار به اراضی بایر و شوره‌زار و ۶۸/۳۱ هکتار به اراضی زراعی تبدیل شده است. نکته‌ی مهم این است که در این بازه‌ی زمانی مساحتی از تپه‌های ماسه‌ای به اراضی ساخته‌شده تبدیل نشده است، زیرا تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند برای سکونتگاه‌های انسانی خطرآفرین باشد. همچنین در این بازه‌ی زمانی مساحتی از کاربری‌های مرتع فقیر، اراضی بایر و شوره‌زار و اراضی زراعی که به ترتیب معادل ۰/۰۹، ۸۷/۶۶ و ۲/۳۴ هکتار می‌باشند به کاربری تپه‌های ماسه‌ای تبدیل شده است (شکل ۹).



شکل ۹. الف) تپه‌های ماسه‌ای سال ۲۰۰۸ (ب) تبدیل تپه‌های ماسه‌ای به سایر کاربری‌ها (ج) تپه‌های ماسه‌ای سال ۲۰۱۶ (د) تبدیل سایر کاربری‌ها به تپه‌های ماسه‌ای

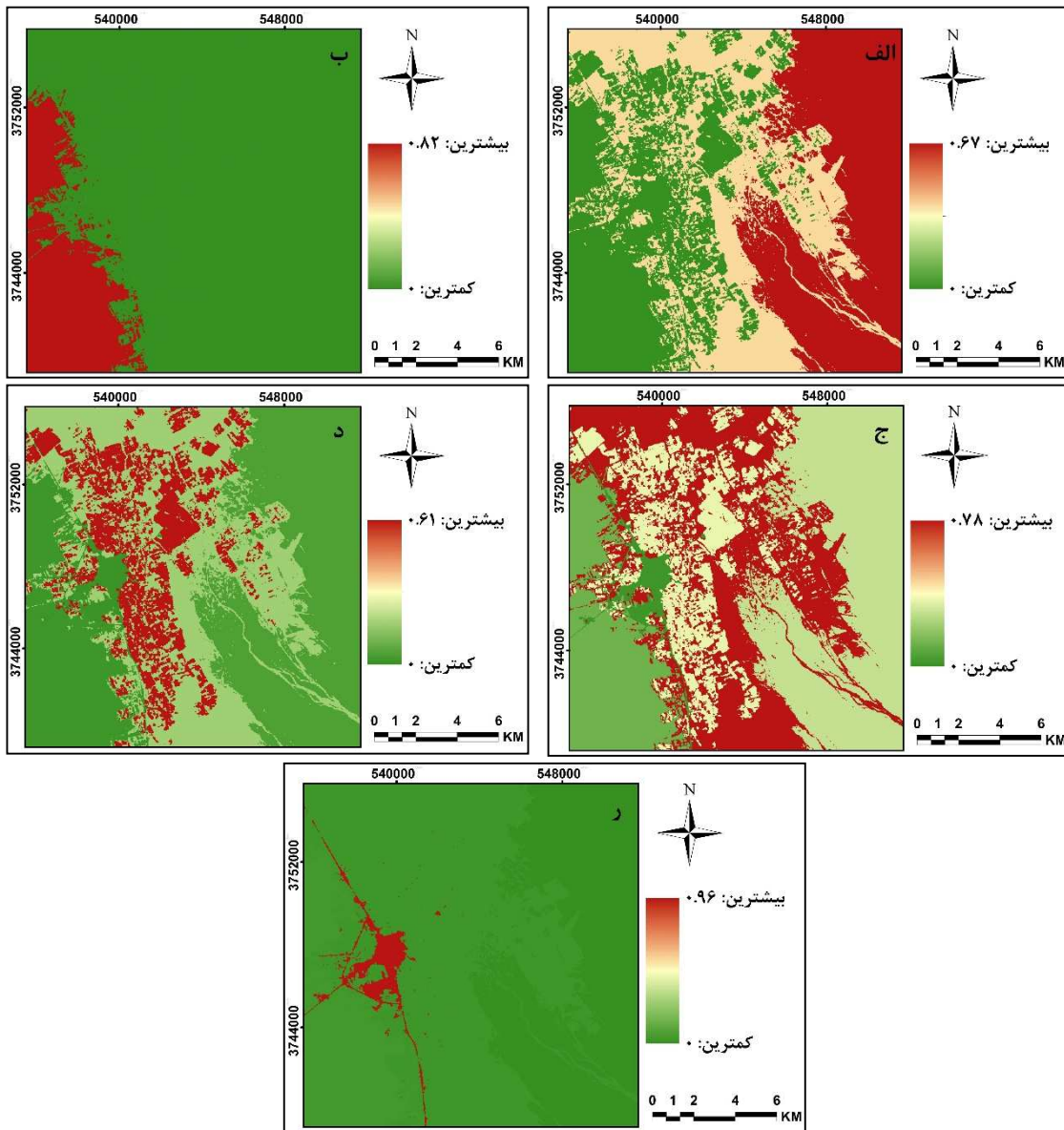
۵-۴- پیش‌بینی

۱-۵-۴- پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی

در تحقیق حاضر برای پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی برای افق زمانی سال ۲۰۳۱ از روش زنجیره‌ی مارکوف استفاده شده است. جزئیات تغییرات احتمالی کاربری اراضی بر اساس زنجیره‌ی مارکوف در جدول (۶) آمده و شکل (۱۰) احتمال تغییر کاربری‌ها به تپه‌های ماسه‌ای را تا سال ۲۰۳۱ نشان می‌دهد.

جدول ۶. احتمال تغییر کاربری اراضی تا سال ۲۰۳۱ بر اساس مدل زنجیره‌ی مارکوف (هکتار)

کاربری اراضی	تپه‌های ماسه‌ای	مرتع فقیر	اراضی بایر و شوره‌زار	اراضی زراعی	اراضی ساخته‌شده
تپه‌های ماسه‌ای	۵۸۴۳/۰۷	۰	۲۴۶۸/۷۹	۳۵۶/۲۲	۹۰۰
مرتع فقیر	۹۰۰	۳۴۷۵/۱۷	۵۲۲/۹	۶۸/۸۵۵	۱۳۴/۱
اراضی بایر و شوره‌زار	۱۸۷/۸۳	۲۰/۰۷	۷۳۶۳/۷۱	۱۶۳۱/۱۶	۲۱۲/۶۷
اراضی زراعی	۹/۹	۲۸/۹۸	۱۵۷۸/۵۱	۲۷۵۲/۹۲	۱۱۴/۹۳
اراضی ساخته‌شده	۰	۰/۸۱	۱۶/۵۶	۷/۹۲	۶۶۷/۸

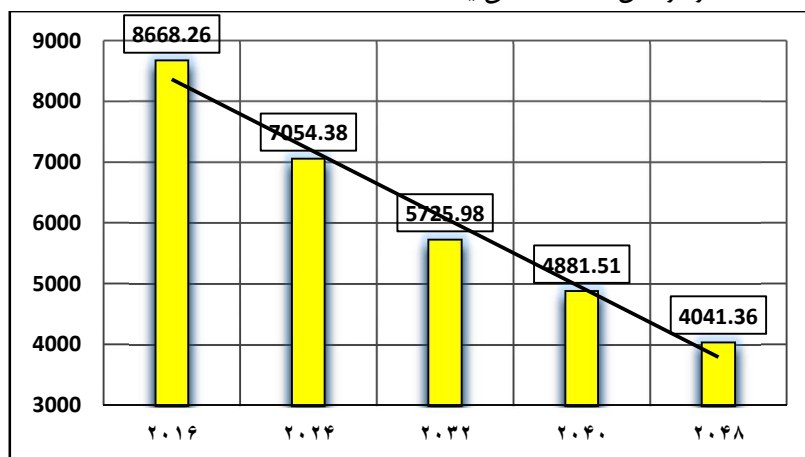


شکل ۱۰. الف) احتمال تغییر کاربری‌ها به تپه‌های ماسه‌ای (ب) مرتع فقیر (ج) اراضی بایر و شوره‌زار (د) اراضی زراعی (ر) اراضی ساخته شده، تا سال ۲۰۳۱ بر اساس مدل زنجیره‌ی مارکوف

نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای ۱۵ سال آینده براساس تغییرات گذشته بیانگر این مسئله است که روند کاهشی تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های آینده همچنان ادامه خواهد داشت به طوری که ۲۴۶۸/۷۹ هکتار به اراضی بایر و شوره‌زار، ۳۶۵/۲۲ هکتار به اراضی زراعی و ۹۰۰ هکتار به اراضی ساخته‌شده تبدیل خواهد شد. از آنجایی که پیش‌بینی تغییرات براساس تغییرات گذشته انجام می‌شود احتمال تغییر کاربری تپه‌های ماسه‌ای به مرتع فقیر صفر می‌باشد. برای تبدیل سایر کاربری‌ها به تپه‌های ماسه‌ای، بیشترین احتمال مربوط به کاربری اراضی بایر و شوره‌زار (۱۸۷/۸۳ هکتار) می‌باشد. بنابراین اگر روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای به همین نحو باشد در سال‌های آینده شاهد کمتر شدن مساحت تپه‌های ماسه‌ای نسبت به سایر کاربری‌ها خواهیم بود.

۲-۵-۴- پیش‌بینی مساحت تپه‌های ماسه‌ای با مدل زنجیره‌ی مارکوف

نتایج حاصل از پیش‌بینی وسعت کاربری تپه‌های ماسه‌ای طی ۳۲-۲۴-۱۶-۸ سال آینده در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مساحت تپه‌های ماسه‌ای در سال ۲۰۱۶ برابر با ۸۶۶۸/۲۶ هکتار بوده که به مساحتی برابر ۴۰۴۱/۳۶ هکتار در سال ۲۰۴۸ کاهش یافته است.



شکل ۱۱. مساحت پیش‌بینی شده‌ی کاربری تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۲۰۴۸ (هکتار)

۵- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای و کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه و پیش‌بینی تغییرات با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. نتایج نشان داد که مساحت تپه‌های ماسه‌ای از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ روندی کاهشی داشته است به طوری که از مساحت ۱۲۷۱۵/۲۰ هکتار در سال ۲۰۰۱ به ۸۶۶۸/۲۶ هکتار در سال ۲۰۱۶ رسیده است. در مطالعه ایمانی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داده شده است که مساحت کاربری تپه‌های ماسه‌ای طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ برای منطقه جنوب شرقی شهر عشق‌آباد روند کاهشی داشته است؛ که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در حالی که در مطالعه رامشت و همکاران (۱۳۹۲) میزان مساحت کاربری تپه‌های ماسه‌ای منطقه شرق جاسک در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۳ افزایش یافته است؛ که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد. طبق مشاهدات میدانی منطقه و بررسی تصاویر ماهواره‌ای، این مقدار کاهش مساحت تپه‌های ماسه‌ای نشان‌دهنده بیابان منفی ماسه در منطقه و تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه است، به این معنا که به دلیل طرح‌های بیابان‌زدایی اجرا شده در منطقه طی سال‌های گذشته، میزان ماسه ورودی به مراتب کمتر از ماسه خروجی بوده است و این امر نشان‌دهنده نقش مثبت و موفقیت طرح‌های اجرا شده است. همچنین به دلیل مساعد بودن شرایط، گونه‌ی تاغ روی تپه‌ی ماسه‌ای به صورت طبیعی زادآوری داشته که این امر نیز تاثیر مثبتی در راستای تثبیت و کاهش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای داشته است. از دیگر نتایج این پژوهش پیش‌بینی مساحت تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۲۰۴۸ می‌باشد که نتایج پیش‌بینی نشان داد مساحت تپه‌های ماسه‌ای از ۸۶۶۸/۲۶ هکتار در سال ۲۰۱۶ به مساحتی برابر ۴۰۴۱/۳۶ هکتار در سال ۲۰۴۸ خواهد رسید. با توجه به تغییرات اقلیمی رخ داده و روند افزایش دما و کاهش بارندگی و رویداد خشکسالی طی سال‌های اخیر در منطقه، انتظار می‌رود که روز به روز بر وسعت فعالیت و دامنه‌ی گسترش تپه‌های ماسه‌ای افزوده گردد؛ این درحالی است که نتایج تحقیق حاضر عکس این روند را نشان می‌دهد و از دامنه‌ی فعالیت و وسعت تپه‌های ماسه‌ای به نفع کاربری‌های دیگر کاسته شده است. در راستای طرح‌های بیابان‌زدایی طی سال‌های گذشته گسترش فعالیت‌های کشاورزی در منطقه‌ی مورد مطالعه به سمت مناطق شرقی شهرستان و محدوده‌ی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای است. به نظر می‌رسد این موضوع به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه و به طبع بهره‌برداری از این آب‌ها در جهت فعالیت‌های کشاورزی در منطقه از طریق حفر چاه می‌باشد؛ در آینده با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه، ممکن است از دامنه‌ی فعالیت‌های کشاورزی به نفع تپه‌های

ماسه‌ای کاسته شود و در نتیجه روند پیش‌بینی آتی کاهش فعالیت تپه‌های ماسه‌ای دارای روندی معکوس گردد. ولی در مطالعه حاضر با توجه به اینکه فقط روند تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های گذشته برای پیش‌بینی چگونه تغییرات اراضی مختلف از جمله تپه‌های ماسه‌ای برای آینده استفاده شده است. پیشنهاد می‌گردد برای مطالعات آتی در این زمینه تاثیر پارامترهای اقلیمی و تاثیر افت سطح آب‌های زیرزمینی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته شود.

منابع

- اکبری، الهه، شکاری، علی، ۱۳۹۲، پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI با نمونه‌های کاربردی در علوم زمین، نقشه‌برداری، جغرافیا و محیط زیست، چاپ اول، انتشارات ماهواره، تهران.
- ایمانی، رسول و همکاران، ۱۳۹۲، بررسی تغییرات مورفومتری تپه ماسه‌ای با استفاده از روش سنجش از دور (مطالعه موردی: جنوب شرقی عشق آباد)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صص. ۱۴۰-۱۲۹.
- رامشت، محمدحسین و همکاران، ۱۳۹۲، بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه‌ی زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از GIS و RS، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، صص. ۱۳۶-۱۲۱.
- سایت شهرداری بشرویه، روابط عمومی، ۱۳۹۵. <http://bosrooyeh.ir/index.php/city-introduction/climatic-conditions>
- علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۷، کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین (علوم خاک)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- غریب‌رضا؛ محمدرضا، معتمد، احمد، ۱۳۸۲، بررسی تغییرات تپه‌های ساحلی استان سیستان و بلوچستان (از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۲)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۶، شماره ۵۰، صص. ۴۷-۳۵.
- فاطمی، سیدباقر، رضایی، یوسف، ۱۳۸۹، مبانی سنجش‌ازدور، تهران، انتشارات آزاده، چاپ دوم.
- معماریان خلیل‌آباد، هادی و همکاران، ۱۳۸۷، منشأیابی رسوبات بادی منطقه فدیشه نیشابور. فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، شماره ۱، صص. ۴۱-۲۶.
- مقصودی، مهران، ۱۳۸۵، شناخت فرآیندهای مؤثر بر توسعه و تحول عوارض ماسه‌ای (مطالعه‌ی موردی: عوارض ماسه‌ای چاله‌ی سیرجان)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، صص. ۱۶۰-۱۴۹.
- نقشه‌ی زمین‌شناسی بشرویه، ۱۳۴۷، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.
- ایمانی، مجتبی، ۱۳۷۹، ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه بادهای فرساینده در منطقه بند ریگ کاشان، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۲، شماره ۳۸، صص. ۱۱۵-۱۳۲.
- Al-Harathi, A, 2002, Geohazard assessment of sand dunes between Jeddah and Al-Lith, western Saudi Arabia, *Environmental Geology*, 42(4), pp. 360-369.
- Burges, C. J, 1998, A tutorial on support vector machines for pattern recognition, *Data mining and knowledge discovery*, 2, pp. 121-167.
- Chi, M, et al, 2008, Classification of hyperspectral remote-sensing data with primal SVM for small-sized training dataset problem, *Advances in space research*, 41(11), pp.1793-1799.
- Gu, B, and Sheng, V. S, 2017, A robust regularization path algorithm for ν -support vector classification. *IEEE Transactions on neural networks and learning systems*, 28(5), pp. 1241-1248.
- Zhao, H. L, et al, 2006, Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin Sandy Farmland, Inner Mongolia, *Catena*, 65(1), pp. 71-79.
- Hermas, E, et al, 2012, Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. *Remote sensing of environment*, 121, pp. 51-60.
- Hixon, R. F, et al, 1980, Aspects of morphometrics and reproduction of the squid *Ommastrephes pteropus Steenstrup 1885* in the western Gulf of Mexico, *Bull. Amer. Malacol. Un., Inc., Ann. meet*, pp. 46, 54-60.
- Hugenholtz, C. H, et al, 2010, Declining sand dune activity in the southern Canadian prairies: historical context, controls and ecosystem implications, *Aeolian Research*, 2(2-3), pp. 71-82.
- Jiang, G, et al, 2009, Determining conversion direction of rural residential land consolidation in Beijing mountainous areas, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 25(2), pp. 214-221.

- Jimenez-Munoz, J. C, and Sobrino, J. A, 2003, A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22).
- Jimenez-Munoz, J. C, and Sobrino, J. A, 2010, A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from ASTER data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(1), pp. 176-179.
- Langford, R. P, et al, 2016, Transport and mixing of eolian sand from local sources resulting in variations in grain size in a gypsum dune field, White Sands, New Mexico, USA, *Sedimentary Geology*, 333, pp. 184-197.
- Maghsoudi, M, et al, 2017, The sand dunes migration patterns in Mesr Erg region using satellite imagery analysis and wind data, *Natural Environment Change*, 3(1), pp. 33-43.
- Paola, J. D, et al, 1995, A review and analysis of backpropagation neural networks for classification of remotely-sensed multi-spectral imagery. *International Journal of remote sensing*, 16(16), 3033-3058.
- Pease, P. P, et al, 1999, Mineralogical characterization and transport pathways of dune sand using Landsat TM data, Wahiba Sand Sea, Sultanate of Oman, *Geomorphology*, 29(3-4), pp. 235-249.
- Redsteer, M. H, et al, 2011, Monitoring and analysis of sand dune movement and growth on the Navajo Nation, southwestern United States, *US Geological Survey*, (No. 2011-3085, pp. 1-2).
- Richards, J. A, 1995, *Remote sensing digital image analysis*, Springer, Berlin.
- Şatır, O, and Berberoglu, S, 2012, Land use/cover classification techniques using optical remotely sensed data in landscape planning, In *Landscape Plannin, InTech*.
- Srivastava, S. K, and Gupta, R. D, 2003, Monitoring of changes in land use/land cover using multi-sensor satellite data, *GIS Development., Map India*.
- Van der Linden, S, et al, 2009, *Image SVM classification. Application Manual: image SVM version*, 2.
- Voogt, J. A, and Oke, T. R, 2003, Thermal remote sensing of urban climates, *Remote sensing of environment*, 86(3), pp. 370-384.
- Weng, Q, 2009, Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), pp. 335-344.
- Yang, G. Q, et al, 2007, Analysis and simulation of land-use temporal and spatial pattern based on CA-Markov model, *Geomatics and information science of Wuhan University*, 32(5), pp. 414-418.