



سجش از دور

و

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲
Vol.5, No.3, Autumn 2013

۳۳-۴۸

پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای تالاب بین‌المللی گاوخونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

عاطفه جبالی*^۱، رضا جعفری^۲، سیدجمال‌الدین خواجه‌الدین^۳

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۷/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۵

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای گاوخونی (ارگ ورزنه)، تپه‌هایی فعال و نیمه‌فعال در جنوب غربی استان اصفهان و غرب تالاب بین‌المللی گاوخونی هستند. این تپه‌ها در افزایش طوفان‌های ماسه‌ای و خسارت‌دیدن جاده‌ها در این ناحیه بسیار مؤثرند. در مطالعه حاضر، تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM، MSS، ETM⁺ و LISSIII طی ۳۲ سال مشخص گردید. در مرحله پیش‌پردازش، تمامی تصاویر با خطای RMS کمتر از یک پیکسل تصحیح هندسی شدند. نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی منطقه با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر شامل آنالیز مؤلفه اصلی، ترکیب رنگی کاذب، شاخص گیاهی NDVI و طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال تولید شدند. برآورد صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده نشان داد که بین تصویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی بیش از ۸۹ درصد همخوانی وجود دارد. مقایسه توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای تقریباً ۵۰۸۶ هکتار (از ۱۴۴۷۵ به ۱۹۵۶۱ هکتار) افزایش یافته است. این افزایش در نواحی بین‌تپه‌ای و تقریباً در بخش مرکزی و جنوبی ارگ مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: تپه‌های ماسه‌ای، تصویر ماهواره، گاوخونی، اصفهان.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، دانشگاه صنعتی، دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری | تلفن: ۰۹۱۳۱۵۹۵۰۸۳

۱- مقدمه

بارش، فقر در پوشش گیاهی و همواری نسبی، شرایط را برای غلبه فرایندهای فرسایش بادی مهیا ساخته است (MemarianKhalilabad et al., 2005). آمار و گزارش‌های سازمان‌های ذی‌ربط نشان از پیشروی سریع اراضی کشور به سمت بیابانی شدن دارند، به طوری که میزان آن سالانه در حدود ۱ میلیون هکتار برآورد شده و گاهی برای نشان دادن عمق فاجعه، میزان آن به صورت هکتار در ثانیه بیان شده است (Ahmadi, 1998). طبق مطالعات، ۱۳ میلیون هکتار از محدوده شهرها و روستاها و خطوط ارتباطی کشور را ناهمواری‌های ماسه‌ای اشغال کرده‌اند، که ۵ میلیون هکتار آن شامل شن‌زارهای فعال و بقیه تپه‌های فسیل شده یا تثبیت شده‌اند (Ahmadi et al., 2001).

از بین رفتن پوشش‌های طبیعی، کاربری‌های غیراقتصادی زمین و کشاورزی روی تپه‌های ماسه‌ای، عواملی هستند که حرکت و جابه‌جایی تپه‌ها را افزایش می‌دهند (Dong et al., 2000). تخریب جاده‌ها، سکونتگاه‌ها، مزارع و مرتع از مشکلات ناشی از حرکت تپه‌های فعال است، این موضوع در اولویت بررسی‌ها و مطالعات بیابان‌زایی قرار می‌گیرد (Yao et al., 2007). تعیین چگونگی گسترش و محور اصلی جابه‌جایی این تپه‌ها از مهم‌ترین اهداف مطالعات فرسایش بادی در مناطق رسوب‌گذاری است. تهیه نقشه‌های متناوب زمانی اهمیت بسیاری در پایش تپه‌ها، برآورد میزان تغییرات سالانه و نیز محور جابه‌جایی احتمالی آنها دارد و در برنامه‌ریزی برای مناطق مجاور تپه‌های ماسه‌ای کاملاً ضروری است (Khalifeh et al., 2007).

در دهه‌های اخیر، استفاده از فناوری دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی بهتر تپه‌های ماسه‌ای در وسعت زیاد با صرف هزینه کمتر از عملیات صحرائی، سبب شده است تا پژوهشگران در بررسی تپه‌های ماسه‌ای، پایش حرکتی و میزان جابه‌جایی آنها طی سال‌های متمادی توجه بیشتری به این فناوری مبذول

تغییرات کاربری و پوشش اراضی ناشی از اختلاف موقعیت یک پدیده در زمان‌های مختلف است که با استفاده از داده‌های چندزمانه و آنالیز کمی این داده‌ها در زمان‌های مختلف در مورد پدیده‌ها صورت می‌پذیرد (Lu et al., 2004). به دلیل رشد روزافزون جمعیت همراه با فشار بر محیط، توسعه شهرسازی و تخریب اراضی با فعالیت‌های بی‌رویه در کشاورزی، تغییرات کاربری و پوشش اراضی (Shalaby and Tateishi, 2007)، پیچیدگی ساختارهای مکانی در سطح زمین و تغییرات سریع در پوشش و کاربری اراضی، تکنیک‌های دورسنجی ابزاری ضروری در پایش‌های محیطی به‌شمار می‌آیند (Kesgin and Nurlu, 2009). در این زمینه، شناخت درست و به موقع تغییرات عوارض سطح زمین، امری مهم در درک بهتر ارتباطات و تعامل بشر و پدیده‌های طبیعی به منظور مدیریت و استفاده درست از منابع در مقیاس‌های مکانی و زمانی است (Lambin, 1997). پایش و شناسایی تغییرات از روش‌های معمول در مطالعه تغییرات اراضی به‌شمار می‌آیند. روش‌های تفریق تصاویر و مقایسه پس از طبقه‌بندی، به منظور شناسایی تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، بیشترین کاربرد را دارند. در روش تفریق تصاویر، محدوده گسترش تغییرات به صورت پیکسلی نشان داده می‌شود و در روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، اطلاعاتی در مورد علل این تغییرات به صورت طبقه‌ای ارائه می‌شود (Oliveira et al., 2008).

تپه‌های ماسه‌ای از اشکال عمومی نماهای طبیعی در مناطق بیابانی هستند که بیش از سایر نماهای طبیعی، سطح بیابان‌ها را اشغال کرده‌اند، از این رو در برخی موارد پیدایش آنها از مصادیق گسترش بیابان بر اثر تغییرات اقلیم و فعالیت‌های بشر به‌شمار می‌آید و از شاخص‌های مهم بیابان‌زایی قلمداد می‌شود (Levin et al., 2004).

حاکمیت اقلیم خشک در بیابان‌های ایران با کمبود

مطالعه برای تفسیر فعالیت تپه‌های قدیمی به‌عنوان نمودی از اقلیم گذشته و پیش‌بینی تغییرات محیطی در آینده صورت پذیرفت. در بررسی آنها کاربری‌های اراضی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و کاربرد روش‌های حداکثر احتمال و کمترین فاصله استخراج گردید و از شاخص NDVI نیز برای استخراج پوشش سبز منطقه استفاده شد. تغییرات از سال ۱۹۷۷ تا سال ۲۰۰۰ به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد و تغییرات در پوشش زمین و حرکت تپه‌ها آشکار گردید. بدین ترتیب در بعضی از نواحی مانند مو یو اس^۵ تثبیت تپه‌ها مشخص شد و در دو بخش از تپه‌های منطقه هورکین^۶ به‌طور کلی تغییرات چندانی رخ نداده بود (Mason et al., 2008)

یائو و همکاران در بررسی حرکت تپه‌های ماسه‌ای فلات آلکسای^۷ شمالی واقع در مغولستان، از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست TM، MSS و ETM مربوط به سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ استفاده کردند. در بررسی آنان میزان حرکت ۱۰ تپه شامل شش تپه^۸ عرضی، سه تپه^۹ بارخانی و یک تپه^{۱۰} هیبرید مطالعه گردید و افزایش مساحت ۰/۱۴ کیلومتر مربع در جهت شرق - جنوب‌شرق در کل این ده تپه طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ مشاهده شد. حجم متوسط این تپه‌ها طی این دوره نیز افزایش داشته است، ولی به‌دلیل ناشناخته‌بودن تغییرات ارتفاعی تپه‌ها در طول این مدت نمی‌توان افزایش حجم متوسط را تأیید کرد (Yao et al., 2007)

تپه‌های ماسه‌ای گاوخونی معروف به ارگ ورزنه شامل تپه‌های نیمه‌فعال تا فعالی است که در قسمت

دارند. جانک در مطالعه تپه‌های ماسه‌ای مدانو کریک^۱ با استفاده از تصاویر TM در سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۸ به روند پایداری تپه‌ها و افزایش رشد بوته‌های نیمه‌بیابانی دست یافت (Janke, 2002). یانگ و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و تکنیک‌های دورسنجی و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۷۵ روند بیابان‌زایی در شمال چین را بررسی و کاهش وسعت تالاب و افزایش گستردگی تپه‌های ماسه‌ای را گزارش کردند (Yang et al., 2007).

امروزه روش‌های گوناگونی برای شناسایی تغییرات پدیده‌های مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بهره‌گیری از فناوری دورسنجی به کار می‌رود، که از جمله می‌توان به روش‌های نسبت‌گیری تصاویر، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، شاخص اختلاف نرمال پوشش گیاهی، طبقه‌بندی تصاویر چندزمانه، مقایسه پس از طبقه‌بندی و دیجیت کردن تصویر اشاره کرد (Hereher, 2010; Lu et al., 2004).

مقایسه بعد از طبقه‌بندی یکی از روش‌های معمول در بررسی آشکارسازی تغییرات است، که علاوه بر آشکارساختن تغییرات در طبقات مختلف، نوع تغییرات به‌وجودآمده (کاهش یا افزایش سطح در طبقه) را نیز مشخص می‌کند. به‌خاطر همین ویژگی از این روش در اکثر مطالعات زمینی استفاده می‌شود (Abdulaziz et al., 2009; Torees-Vera et al., 2009).

این تکنیک بر مبنای مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه‌های تولیدشده از تصاویر ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف پایه‌ریزی شده و افزون بر شناسایی سطح تغییرات، اطلاعات مناسبی نیز از تغییرات مشاهداتی به‌دست می‌دهد (Oliveira et al., 2008).

ماسون و همکاران از سال ۱۹۷۰ با استفاده از سنجنده‌های^۲ MSS،^۳ TM و^۴ ETM ماهواره لندست به مطالعه تغییر حرکت تپه‌ها بر اثر کاهش زیاد قدرت باد در منطقه نیمه‌خشک شمال چین پرداختند. این

1. Medano Creek
2. Multi-Spectral Scanner
3. Thematic Mapper
4. Enhanced Thematic Mapper Plus
5. Mu US
6. Horqin
7. Alxa

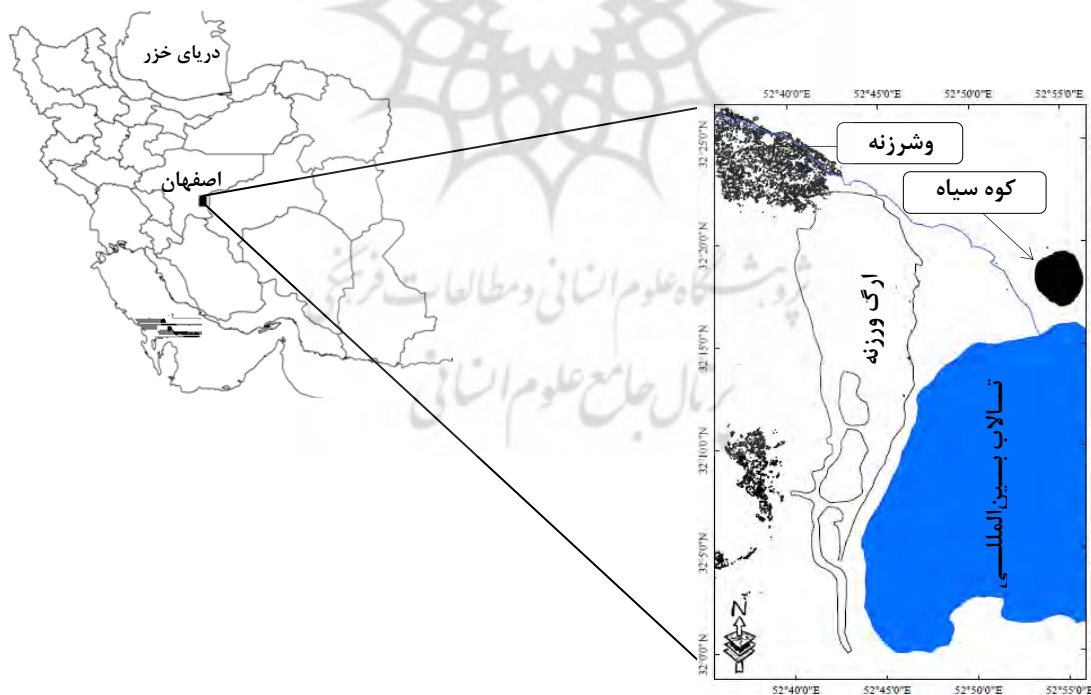
سطح وسیعی از قسمت غربی تالاب گاوخونی در بخش جنوب شرقی استان اصفهان را به خود اختصاص داده است. این منطقه بین طول‌های "۱۹'۱۰'۶۵" تا "۵۳'۱۶'۶۸" شرقی و عرض‌های "۳۵'۳۸'۸۷" الی "۹۳'۹۱'۳۵" شمالی واقع گردیده است. تپه‌های ماسه‌ای از بخش جنوبی ورزنه آغاز شده و تا شهرسرای در جنوب ادامه دارد. قسمت مرکزی ارگ شامل دو دشت داخلی به نام‌های میان‌بای بزرگ و میان‌بای کوچک است که به‌طور پراکنده از تپه‌های ماسه‌ای قدیمی و نسبتاً بی‌شکل پوشیده شده است. ارتفاع تپه‌ها در این ناحیه گاه به ۶۰ متر می‌رسد. وزش بادهای غالب با جهت غربی در ۹ ماه از سال، بارندگی در حدود ۷۶ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر و تعرق ۳۲۶۵ میلی‌متر در سال نشان از اقلیم بیابانی حاکم بر منطقه دارد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.

جنوب شرقی استان اصفهان در مجاورت تالاب بین‌المللی گاوخونی واقع گردیده و در افزایش غبار ناشی از طوفان‌های ماسه‌ای در منطقه و هجوم ماسه‌ها به سمت جاده‌های اطراف مؤثر بوده است. به دلیل وسعت زیاد و صعب‌العبور بودن بخشی از این منطقه تاکنون مطالعه کاملی در زمینه پایش تغییرات این تپه‌ها انجام نشده است. لذا هدف مطالعه حاضر بررسی امکان استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و داده‌های ماهواره‌ای به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی تپه‌های ماسه‌ای منطقه مطالعاتی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مطالعاتی

تپه‌های ماسه‌ای گاوخونی (ارگ ورزنه) مجموعه‌ای از تپه‌های بارخانوئید، ستاره‌ای، سیلک و سیف است که



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای تالاب بین‌المللی گاوخونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده

سنجنده	سکو	تاریخ	گذر	ردیف	قدرت تفکیک مکانی (متر)
MSS	لندست	۱۳۵۵/۳/۲۱	۱۷۵	۳۸	۷۹
TM	لندست	۱۳۶۹/۶/۱۹	۱۶۳	۳۸	۳۰
ETM ⁺	لندست	۱۳۷۸/۶/۴	۱۶۳	۳۸	۳۰
LISSIII	IRS_P ₆	۱۳۸۷/۱/۲۵	۷۲	۴۸	۲۴

زمین مرجع شدند و اندازه پیکسل‌های تمامی تصاویر به ۳۰ متر تغییر داده شد. در انتخاب نقاط زمین مرجع سازی کوشش شد تا از نقاط منطقه‌های بدون تغییر - نظیر تقاطع جاده‌ها و محدوده اراضی کشاورزی- انتخاب شود، به گونه‌ای که پراکنش مناسبی نیز نسبت به هم داشته باشند. از آنجاکه در این تحقیق آشکارسازی الگوهای تپه‌های ماسه‌ای مورد نظر است و قصد استخراج اطلاعات طیفی از تصاویر را نداشته‌ایم، هیچ‌گونه اصلاحات جوی اعمال نشده است.

۲-۴- پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

در این مطالعه از تکنیک‌های بارزسازی تصاویر، نظیر ترکیب‌های رنگی، شاخص پوشش گیاهی NDVI^۳ و آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۴ به منظور آشکارسازی و استخراج هرچه کامل تر اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای بهره گرفته شد و در ادامه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقات کاربری در تصاویر معرفی گردید. از آنجاکه در اجرای طبقه‌بندی نظارت‌شده روی تصاویر، به نمونه‌های تعلیمی مناسب و صحیحی نیاز است که نماینده کاملی از پوشش‌های اراضی باشند، نمونه‌های تعلیمی به عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات در تفکیک پوشش‌های اراضی با بازدید میدانی و استفاده از اطلاعات جانبی نظیر مطالعات انجام‌شده در منطقه (Pakzad, 2003) و تصاویر گوگل ارث، معرفی گردید و

۲-۲- داده‌های سنجنش از دور

برای شناسایی تغییرات ارگ گاوخونی از تصاویر سه سنجنده MSS، TM و ETM⁺ ماهواره لندست، و تصویر سنجنده LISSIII^۱ از ماهواره IRS^۲_P₆ استفاده گردید. قدیمی‌ترین تصویر متعلق به سنجنده MSS در سال ۱۳۵۵ و جدیدترین تصویر متعلق به سال ۱۳۸۷ است. در انتخاب تصاویر سعی شده است تا علاوه بر توجه به کیفیت تصاویر، حداکثر فاصله زمانی ممکن نیز برای آشکارسازی تغییرات در نظر گرفته شود. در جدول ۱ مشخصات تصاویر استفاده‌شده در این بررسی ارائه شده است.

۲-۳- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

اجرای عملیات پیش‌پردازش روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده با توجه به چندزمانه بودن داده‌ها و استفاده از اطلاعات سنجنده‌های مختلف با قدرت تفکیک مکانی متفاوت، ضروری است. بدین منظور در نخستین گام مطالعه، عملیات تصحیح هندسی روی تصاویر ماهواره‌ای اجرا گردید. ابتدا باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سال ۱۳۸۲ با استفاده از معادله چندجمله‌ای درجه یک و به روش نزدیک‌ترین همسایه در سیستم مختصات UTM با ۵۲ نقطه کنترل زمینی و با خطای کمتر از ۰/۵ پیکسل زمین مرجع گردید. سپس بقیه تصاویر ماهواره‌ای با روش مذکور به صورت تصویر به تصویر از روی تصویر باند پانکروماتیک با ۱۵، ۴۳، ۴۲ و ۳۱ نقطه کنترل زمینی به ترتیب در تصاویر MSS، TM، ETM⁺ و LISSIII با خطای کمتر از ۰/۵ پیکسل

1. Linear Imaging Self Scanner-III
2. Indian Remote Sensing
3. Normalized Differencing Vegetation Index (NDVI)
4. Principle Component Analysis (PCA)

معرفی شد. این حد آستانه در معرفی پوشش گیاهی تصویر MSS، محدوده ارزشی (۰/۰۷-۰/۱۴) و در معرفی اراضی کشاورزی، محدوده ارزشی بیش از ۰/۱۴ تعیین شد و در تصویر TM، ETM⁺ و IRS-P₆ به ترتیب محدوده‌های (۰/۱-۰/۰۵)، (۰/۱-۰/۰۵) و (۰-۱/۲) به‌عنوان پوشش گیاهی طبیعی و مقادیر ارزشی بیش از ۰/۰۵، ۰/۰۵، ۱/۲ به‌عنوان اراضی کشاورزی معرفی شدند.

پس از این مرحله، برای تعیین مناسب‌ترین ترکیب رنگی از فاکتور شاخص بهینه^۲، در هر یک از تصاویر ماهواره‌ای بهره گرفته شد. در جدول ۳ بهترین ترکیب رنگی در تصاویر بررسی شده ارائه گردیده است.

انواع کاربری‌های موجود در منطقه شناسایی شد. در جدول ۲ مشخصات مربوط به هر طبقه ارائه شده است. در مرحله بعد، با استفاده از شاخص گیاهی NDVI، مناطق شامل پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی معرفی شدند و برای تفکیک اراضی کشاورزی و پوشش گیاهی طبیعی منطقه، با کمک بازدید میدانی، از روش آستانه‌گیری^۱ استفاده شد.

با توجه به قرارگیری شاخص NDVI در محدوده ارزشی ۱- تا ۱، با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGIN (9.1) و اجرای روش آزمون و خطا در تعیین حدود آستانه متفاوت، مناسب‌ترین حد آستانه در تفکیک پوشش گیاهی طبیعی و اراضی کشاورزی

جدول ۲. پوشش‌های اراضی منطقه مطالعاتی

نوع کاربری	کد کاربری	توضیحات
ارضی لخت	۱	خاک فاقد هرگونه پوشش گیاهی
ارضی شور	۲	ارضی دارای مقدار زیاد املاح نمکی
مرتع	۳	دشت سنگریزه‌ای دارای پوشش فقیر
تپه‌های ماسه‌ای	۴	ارگ گاوخونی
پوشش گیاهی طبیعی	۵	پوشش‌های گیاهی به استثنای اراضی کشاورزی اعم از پوشش اطراف رودخانه زاینده‌رود شامل <i>Tamarix sp.</i> ، <i>Typha sp.</i> ، <i>Phragmites sp.</i> ، <i>Salicornia sp.</i> و تاغ‌زارها
ارضی کشاورزی	۶	کشت پنبه، جو، سبزیجات، نباتات علوفه‌ای و باغ‌ها
منطقه مسکونی	۷	شهرهای ورزنه، خارا، حسن‌آباد، کمال‌آباد، دستجرد و جرقویه علیا
حاشیه اطراف تالاب	۸	ارضی بسیار شور و دارای میزان فراوان نمک در اطراف تالاب بین‌المللی گاوخونی
تالاب	۹	تالاب بین‌المللی گاوخونی
بروزد سنگی	۱۰	کوه سیاه

جدول ۳. ترکیب‌های رنگی استفاده‌شده در تصاویر ماهواره‌ای

ترکیب باندی	شاخص فاکتور بهینه	تصویر	ترکیب باندی	شاخص فاکتور بهینه	تصویر
۷، ۵، ۳	۴۹/۷۲	ETM ⁺	۴، ۳، ۲	۱۹/۲۸	MSS
۴، ۳، ۱	۶۷/۹۸	LISSIII	۳، ۵، ۱	۴۴/۸۴	TM

1. Threshold

2. Optimum Index Factor (OIF)

تعلیمی بین کلاس‌هاست (Lillesand and Kiefer, 2000).

در اجرای عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده، از روش حداکثر احتمال^۲ - به‌علت دقت بالای آن - استفاده گردید. در این الگوریتم، واریانس و کوواریانس کلاس‌ها ارزیابی می‌شوند و فرض بر این است که همه مناطق آموزشی پراکنش نرمال دارند. از آنجاکه نمونه‌های تعلیمی باید معرف هر کلاس باشند، تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات ویژگی‌های طیفی متعددی در گسترهٔ پیوستهٔ آن قرار گیرد. بنابراین، شرط توزیع نرمال در این روش اهمیت زیاد دارد. در توزیع نرمال میانگین^۳، میانه^۴ و نما^۵ مقادیر برابر دارند و نمودار آن به شکل زنگوله‌ای است (AlaviPanah, 2006).

در مرحله آخر، به‌منظور تولید نقشهٔ نهایی پوشش اراضی، کاربری‌های استخراج‌شده از شاخص گیاهی NDVI، ترکیب رنگی و آنالیز مؤلفه اصلی، در هر یک از سنجنده‌های بررسی‌شده با استفاده از روش هم‌پوشانی^۶ با یکدیگر ادغام شدند.

۲-۵- برآورد صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

پس از تولید نقشه‌های پوشش اراضی، عملیات ارزیابی صحت با محاسبهٔ ماتریس خطا، نقاط کنترل زمین به‌طور تصادفی از طریق بازدید میدانی، نقشه‌های توپوگرافی، تصویر گوگل ارث و عکس‌های هوایی به‌عنوان داده‌های رفرنس برداشت شد و صحت کلی، ضریب کاپا، خطای حذف^۷، خطای اضافه^۸، صحت کاربر

بدین ترتیب کاربری‌های برون‌زد سنگی، مرتع، تالاب، حاشیه اطراف تالاب و تپه‌های ماسه‌ای از تصاویر حاصل از ترکیب رنگی موجود در جدول ۳ به‌دست آمدند و با توجه به اینکه تصاویر حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی قابلیت بسیار مناسبی در بارزسازی کاربری‌ها دارند، از تصویر حاصل از PCA₃ در جداسازی اراضی شور و لخت و PCA₄ در جداسازی مناطق مسکونی استفاده گردید. در این مرحله با توجه به اینکه تصاویر حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی از مؤلفه سوم به بعد رنگی‌اند، به‌رغم آنکه در مقایسه با دو مؤلفه اول و دوم اطلاعات کمتری از آنها در دست است، از نظر بصری برای تفکیک عوارض تا حدودی مناسب‌اند. به همین دلیل پس از تولید تصاویر مؤلفه‌های سوم و چهارم از PCA، عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده برای هر یک از تصاویر جداگانه انجام گرفت و پس از معرفی کاربری‌های مختلف روی تصاویر شامل کوه، تالاب، منطقه مسکونی، پوشش گیاهی، اراضی شور، اراضی لخت، مرتع و تپه‌های ماسه‌ای؛ اراضی شور و لخت از تصویر PCA₃ و مناطق مسکونی از تصویر PCA₄ استخراج شد.

در ادامه برای ارزیابی نمونه‌های تعلیمی در تمامی طبقات کاربری، نمودارهای حاصل از متوسط مقادیر عددی نمونه‌های تعلیمی مربوط به هر کاربری، در محور مختصات واحد با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGIN (9.1) بررسی شد و نمودار هر کاربری‌ای که تداخلی با نمودار سایر کاربری‌ها نداشت، یعنی صحیح تفکیک شده بود. به‌منظور ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات نیز از پارامتر آماری شاخص واگرایی تبدیل‌شده^۱ استفاده گردید. این شاخص نوعی واریانس فاصله وزنی بین میانگین طبقات است که مقدار آن بین ۰ تا ۲۰۰۰ متغیر است. شاخص واگرایی بالاتر بیانگر فاصله آماری بیشتر بین نمونه‌های تعلیمی و در نتیجه احتمال طبقه‌بندی صحیح‌تر طبقات کاربری است. مقادیر کمتر از ۱۵۰۰ برای این پارامتر نشان‌دهندهٔ تفکیک‌پذیری پایین و تداخل خصوصیت نمونه‌های

1. Transformed Divergence Index
2. Maximum likelihood
3. Mean
4. Mediam
5. Mode
6. Overlay
7. Omission Error
8. Commission Error

ماسه‌ای و صفر سایر کاربری‌هاست. در ادامه، عملیات شناسایی تغییرات کاربری تپه‌های ماسه‌ای در محیط نرم‌افزاری (ERDAS IMAGINE 9.1) به روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی^۲ صورت گرفت و تغییرات افزایشی یا کاهش‌ی در دوره مطالعاتی از یکدیگر تفکیک شدند که نتیجه آن ارزش‌های ۱، صفر و ۱- بود. ارزش ۱ نشان‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای اضافه‌شده، ارزش ۱- نشان‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای کاسته شده و ارزش صفر بیانگر مناطقی است که در طول این دوره تغییری نداشته است.

در این روش تصاویر مربوط به زمان‌های متفاوت، جداگانه طبقه‌بندی و کدگذاری می‌شوند و سپس سطح تغییرات از مقایسه مستقیم نتایج طبقه‌بندی به‌دست می‌آید. این روش، میانبری برای دشواری‌های بررسی تغییرات آنالیز تصاویر به‌دست‌آمده از زمان‌های متفاوت سال یا با سنجنده‌های مختلف است؛ که از مزایای آن نیز به‌شمار می‌آید (Lunetta and D. Elvidge, 1999). حداقل کردن تأثیرات اتمسفری و تفاوت‌های سنجنده و اختلافات محیطی بین تصاویر چندزمانه و ارائه ماتریس کاملی از تغییرات، از مزایای این روش و حساسیت زیاد به صحت طبقه‌بندی‌های جداگانه برای هر تصویر، از نقاط ضعف این روش قلمداد می‌شود (Castellana et al., 2007; Lu et al., 2004; Rembold et al., 2000). بنابراین استفاده از این روش زمانی مناسب است که صحت طبقه‌بندی زیاد باشد. بدین ترتیب هر کدام از تصاویر طبقه‌بندی‌شده در هر زمان، مورد ارزیابی دقیق قرار می‌گیرند و چنانچه صحت کافی داشته باشند از آنها در بررسی مقایسه بعد از طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Castellana et al., 2007). شکل ۲ به‌طور خلاصه مراحل انجام این را مطالعه به تصویر کشیده است.

و صحت تولیدکننده برای هر یک از نقشه‌های تولیدی محاسبه شد.

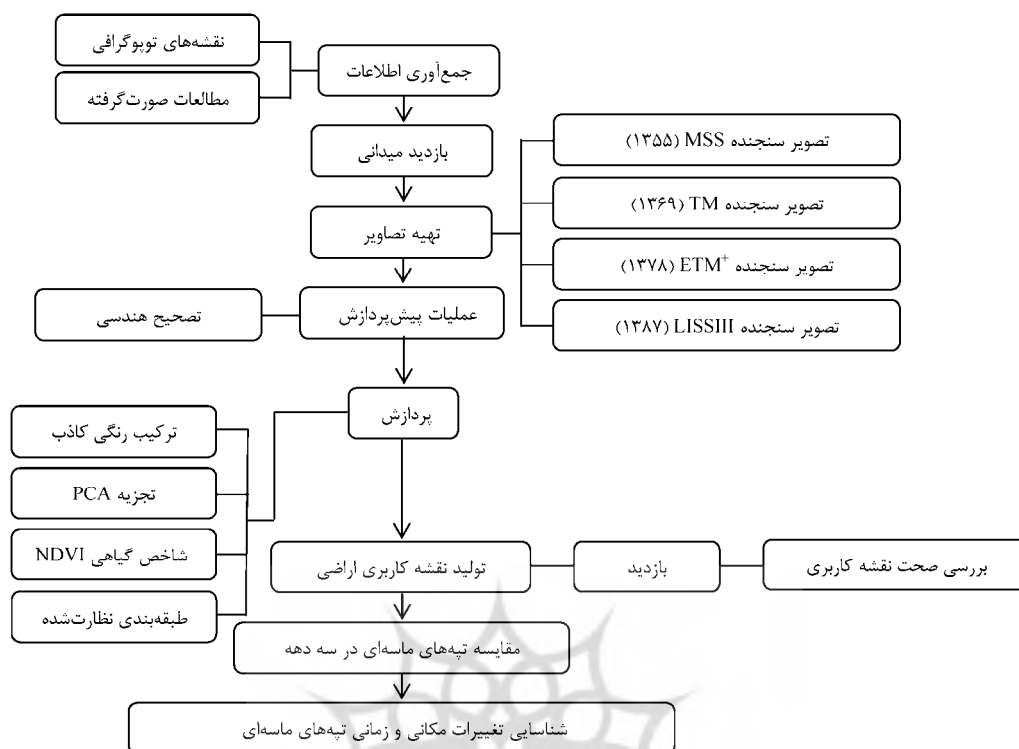
با توجه به اینکه تعداد نقاط کنترلی لازم برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی حداقل ۵۰ عدد و برحسب وسعت و اهمیت کاربری مورد نظر متغیر است (Lillesand and Kiefer, 2000)، در این بررسی، انتخاب نقاط کنترلی در تصویر مربوط به سنجنده LISSIII با توجه به هم‌زمانی این تصویر با زمان انجام پژوهش عملیات میدانی (با استفاده از سامانه GPS) انجام پذیرفت و ۱۳۳ نقطه کنترل زمینی برداشت گردید. در برخی از کاربری‌ها به‌دلیل صعب‌العبور بودن یا دسترسی نداشتن به تمام قسمت‌های کاربری مانند تالاب گاوخونی حاشیه اطراف تالاب و قسمت‌های داخلی تپه‌های ماسه‌ای، برای تکمیل نقاط کنترل زمینی از تصویر گوگل ارث سال ۲۰۰۵ استفاده شد و در سایر نقشه‌های تولیدی از ۱۰۰ نقطه کنترلی تصادفی حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی موجود با فاصله زمانی نزدیک به سال نقشه کاربری مورد نظر، بهره گرفته شد. بدین ترتیب نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۵۵ برای تعیین نقاط کنترلی نقشه کاربری حاصل از تصویر MSS و عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۴ و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سال ۱۳۸۲ برای تعیین نقاط کنترلی نقشه کاربری حاصل از تصاویر TM و ETM⁺ استفاده گردید. به‌منظور حذف تأثیر حاشیه در طبقات کاربری و کاهش منابع خطا این نقاط از قسمت‌های میانه کاربری‌ها برداشت شدند.

۲-۶- استخراج و تهیه نقشه تغییرات تپه‌های ماسه‌ای

به‌منظور ایجاد نقشه‌ای که بیانگر تغییرات ارگ ورزنده در فواصل زمانی مشخص باشد، ابتدا هر دو نقشه مربوط به یک فاصله زمانی مشخص به تصویر صفر و یک^۱ تبدیل شد، که در آن یک نشان‌دهنده مناطق دارای تپه‌های

1. Boolean Image
2. Post-classification

پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای تالاب بین‌المللی گاوخونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۲. روندنمای مراحل انجام شناسایی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نقشه‌های پوشش اراضی

براساس طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال (جدول ۴) طبقات کاربری و پوشش اراضی در ۱۰ کلاس با صحت مناسب معرفی شدند (شکل ۳). استفاده از PCA_3 در جداسازی اراضی شور و لخت و PCA_4 در جداسازی مناطق مسکونی، سبب شد تا پوشش‌های اراضی مذکور با دقت بالایی آشکارسازی و از سایر کاربری‌ها تفکیک شوند. در مطالعات دیگر نیز به‌کارگیری تصویر حاصل از PCA_3 در جداسازی اراضی لخت یا ترکیب حاصل از مؤلفه‌های ۳، ۱ و ۷ در تفکیک اراضی لخت و کشاورزی آبی مناسب تشخیص داده شده است (Goudarzi et al., 2007).

طبق نتایج به‌دست‌آمده، طی ۳۲ سال گذشته مساحت تپه‌های ماسه‌ای، اراضی شور، مناطق مسکونی، و پوشش گیاهی طبیعی افزایش یافته، اما سطح تالاب بین‌المللی گاوخونی و حاشیه اطراف آن، اراضی لخت و

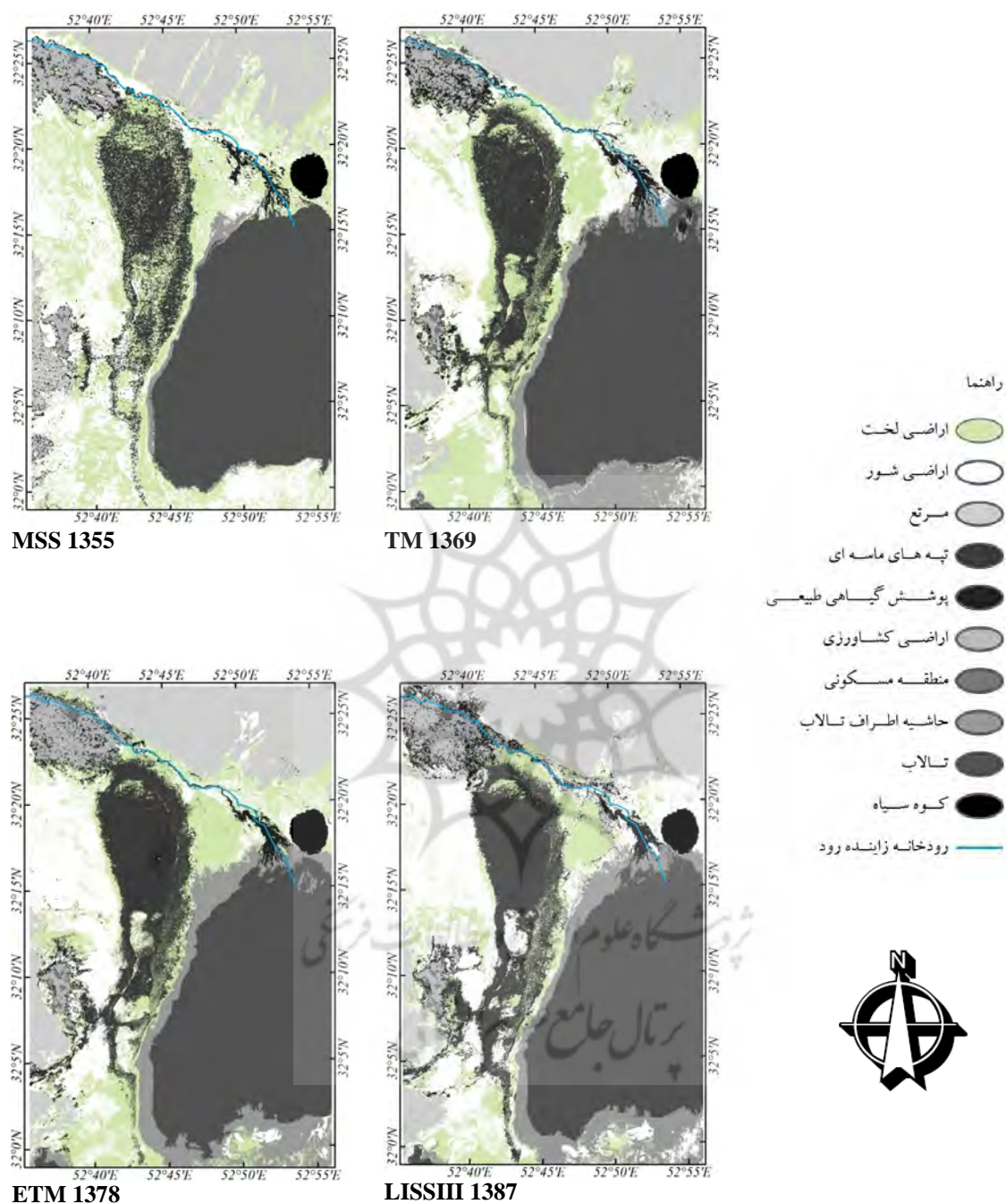
اراضی کشاورزی کاهش یافته است. با کاهش سطح زیر کشت، فضای خالی اراضی کشاورزی با پوشش گیاهی طبیعی اشغال شده و سطح آن افزایش یافته است، البته در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارندگی و کمبود آب در منطقه، این مسئله نمود بیشتری یافته است. در تغییر مساحت حاشیه اطراف تالاب گاوخونی، اراضی لخت و اراضی شور تصاویر ماهواره‌ای لندست قابلیت زیادی نشان ندادند، اما تصویر حاصل از سنجنده LISSIII این کاربری‌ها را به‌خوبی تفکیک کرده است. در بازدید صحرائی، تفکیک مناسب این طبقات تأیید شد. مساحت کوه سیاه نیز به دلیل ثابت‌بودن موقعیت آن، ثابت و در تمام تصاویر یکسان فرض گردید. سطح پوشش مرتعی هم طی چهار دوره فراز و نشیب‌های اندکی داشته است، به‌گونه‌ای که در تصویر حاصل از سنجنده MSS به دلیل پایین بودن کیفیت تصویر، این طبقه با صحت مناسبی تفکیک نگردید و به همین علت نمی‌توان در مورد آن نظر قطعی داد.

عاطفه جهانی و همکاران

جدول ۴. مساحت پوشش اراضی حاصل از آنالیز داده‌های سنجنده‌های مختلف (مساحت ha)

کاربری و پوشش اراضی تصویر	کوه سبزه	تالاب	حاشیه اطراف تالاب	منطقه مسکونی	اراضی کشاورزی	پوشش گیاهی طبیعی	تپه های ماسه ای	مرغ	اراضی شور	اراضی یخبندان	
MSS(1355)											
مساحت	۱۵۰۶	۴۵۰۴۸	۲۴۰۲	۱۹۵	۴۲۲۷	۵۴۱۲	۱۴۴۷۵	۲۰۵۱۶	۳۶۱۵۲	۳۶۲۳۴	
صحت کاربر (%)	۱۰۰	۸۱/۸۲	۵۵/۵۶	۷۷/۷۸	۶۹/۲۳	۸۰	۸۰	۸۰	۴۴/۴۴	۵۰	
صحت تولیدکننده (%)	۱۰۰	۸۱/۸۲	۷۱/۴۳	۸۷/۵	۹۰	۸۰	۹۴/۱۲	۸۰	۳۳/۳۳	۲۸/۵۷	
خطای حذف (%)	۰	۱۸/۱۸	۲۸/۵۷	۱۲/۵	۱۰	۲۰	۵/۸۸	۲۰	۶۶/۶۷	۷۱/۴۳	
خطای اضافه (%)	۰	۱۸/۱۸	۴۴/۴۴	۲۲/۲۲	۳۰/۷۷	۲۰	۲۰	۲۰	۵۵/۵۶	۵۰	
ضریب کاپا	۰/۷۲	۰/۸۰	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۷۸	۰/۹۳	۰/۷۹	۰/۲۷	۰/۲۲	
TM (1369)											
مساحت	۱۵۰۶	۴۴۵۳۳	۱۱۲۰۴	۲۷۹	۳۴۲۶	۶۸۹۷	۱۷۰۹۴	۲۳۱۶۹	۳۰۴۰۲	۲۸۵۷۴	
صحت کاربر (%)	۱۰۰	۹۰/۹۱	۶۶/۶۷	۸۵/۷۱	۸۶/۶۷	۱۰۰	۶۵	۸۰	۱۰۰	۷۵	
صحت تولیدکننده (%)	۱۰۰	۸۳/۳۳	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۴/۶۲	۹۲/۸۶	۱۰۰	۷۱/۴۳	۵۰	
خطای حذف (%)	۰	۱۶/۶۷	۲۰	۰	۰	۱۵/۳۸	۷/۱۴	۰	۲۸/۵۷	۵۰	
خطای اضافه (%)	۰	۹/۰۹	۳۳/۳۳	۱۴/۲۹	۱۳/۳۳	۰	۳۵	۲۰	۰	۲۵	
ضریب کاپا	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۷۹	۱	۱	۰/۸۲	۰/۹۱	۱	۰/۶۸	۰/۴۶	
ETM* (1378)											
مساحت	۱۵۰۶	۴۴۵۴۳	۱۳۵۴۵	۳۱۸	۵۳۱۱	۶۲۸۲	۱۸۴۸۴	۲۳۸۱۳	۲۷۱۱۳	۲۵۸۲۸	
صحت کاربر (%)	۱۰۰	۱۰۰	۸۸/۸۹	۸۷/۵	۱۰۰	۹۰	۹۰/۹۱	۱۰۰	۶۴/۷۱	۷۲/۷۳	
صحت تولیدکننده (%)	۱۰۰	۷۵	۸۸/۸۹	۸۷/۵	۸۷/۵	۱۰۰	۱۰۰	۸۳/۳۳	۶۸/۷۵	۶۶/۶۷	
خطای حذف (%)	۰	۲۵	۱۱/۱۱	۱۲/۵	۱۲/۵	۰	۰	۱۶/۶۷	۳۱/۲۵	۳۳/۳۳	
خطای اضافه (%)	۰	۰	۱۱/۱۱	۱۲۲/۵	۰	۱۰	۹/۰۹	۰	۳۵/۲۹	۲۷/۲۷	
ضریب کاپا	۰/۸۶	۰/۷۴	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۶	۱	۱	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۶۳	
LISSIII (1387)											
مساحت	۱۵۰۶	۴۲۷۴۴	۱۲۴۶۴	۳۴۵	۴۶۶۱	۸۹۰۵	۱۹۵۶۱	۲۲۸۰۹	۳۷۴۳۸	۱۷۰۵۵	
صحت کاربر (%)	۱۰۰	۱۰۰	۸۷/۵	۷۵	۸۸/۸۹	۹۰/۶۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۲/۳۵	
صحت تولیدکننده (%)	۱۰۰	۸۸/۸۹	۱۰۰	۱۰۰	۸۸/۸۹	۹۰/۶۳	۹۰	۶۶/۶۷	۸۸/۴۶	۱۰۰	
خطای حذف (%)	۰	۱۱/۱۱	۰	۰	۱۱/۱۱	۹/۳۷	۱۰	۳۳/۳۳	۱۱/۵۴	۰	
خطای اضافه (%)	۰	۰	۱۲/۵	۲۵	۱۱/۱۱	۹/۳۷	۰	۰	۰	۱۷/۶۵	
ضریب کاپا	۰/۹۱/۷	۰/۸۸	۱	۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۸۶	۱	

پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای تالاب بین‌المللی گاوخونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حاصل از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده

زمین به ترتیب برای تصاویر TM و ETM⁺ خود به صحت کلی ۹۱/۶ و ۸۶/۵ درصد و ضریب کاپای کلی ۸۸ و ۸۲ درصد دست یافتند (Fan et al., 2008). با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، صحت نقشه‌های تولیدی در تصاویر MSS، TM، ETM⁺ و LISSIII به ترتیب ۷۲، ۸۴، ۸۶ و ۹۱/۷ درصد و ضریب کاپای کلی به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۸۲، ۰/۸۴ و ۰/۹ بوده است (جدول ۴). صحت بالای برخی از کلاس‌ها می‌تواند حاصل اختلاف طیفی بالای رخصاره‌های ژئومورفولوژی با کاربری‌ها در مناطق بیابانی باشد.

۳-۲- تغییرات کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در ۳۶ سال گذشته

نتایج حاصل از شناسایی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در طی دوره مطالعاتی بیانگر افزایش سطح درونی و تدریجی تپه‌ها و حرکت آن در داخل محدوده ارگ است (شکل ۴). بیشترین افزایش سطح در این دوران در بخش میانی ارگ به سمت جنوب رخ داده است. در این محدوده، تپه‌های ماسه‌ای فعال‌تر از قسمت شمالی ارگاند و افزایش مساحت و جابه‌جایی بیشتری دارند. براساس نتایج به دست آمده، مساحت بخشی از تپه‌ها که به صورت زایده‌ای در قسمت غربی ارگ قرار گرفته، در حال افزایش است. در جدول ۵ تغییرات مساحتی تپه‌های ماسه‌ای واقع در ارگ گاوخونی طی دوره‌های مطالعاتی ارائه شده است. سطح ارگ ورزنه در سال ۱۳۵۵ برابر با ۱۴۴۷۵ هکتار بوده و این سطح در سال ۱۳۶۹، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷ به ترتیب به ۱۷۰۹۴، ۱۸۴۸۴ و ۱۹۵۶۱ هکتار رسیده است. با توجه به نتایج و نقشه‌های ارائه شده، سطح تپه‌ها در این دوره مرتباً افزایش یافته، درحالی‌که محدوده کلی آن - که تحت عنوان ارگ شناخته می‌شود - تغییر حرکتی چندانی نداشته است.

قدیمی‌ترین تصویر بررسی شده در این پژوهش متعلق به سنجنده MSS سال ۱۳۵۵ است که در مقایسه با سایر تصاویر، قدرت تفکیک مکانی کمتری دارد. تصاویر سنجنده‌های TM (۱۳۶۹) و ETM⁺ (۱۳۷۸) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، در مقایسه با سنجنده MSS قابلیت و توانایی بالایی برای تولید نقشه‌های پوشش اراضی دارند و تصویر ماهواره‌ای سنجنده LISSIII (۱۳۸۷) با قدرت تفکیک مکانی ۲۳/۵ متر نیز کیفیت بالایی برای تولید نقشه‌های پوشش اراضی دارد. این موضوع با نتایج به دست آمده در زمینه صحت نقشه‌های تولیدی کاملاً منطبق است (جدول ۴).

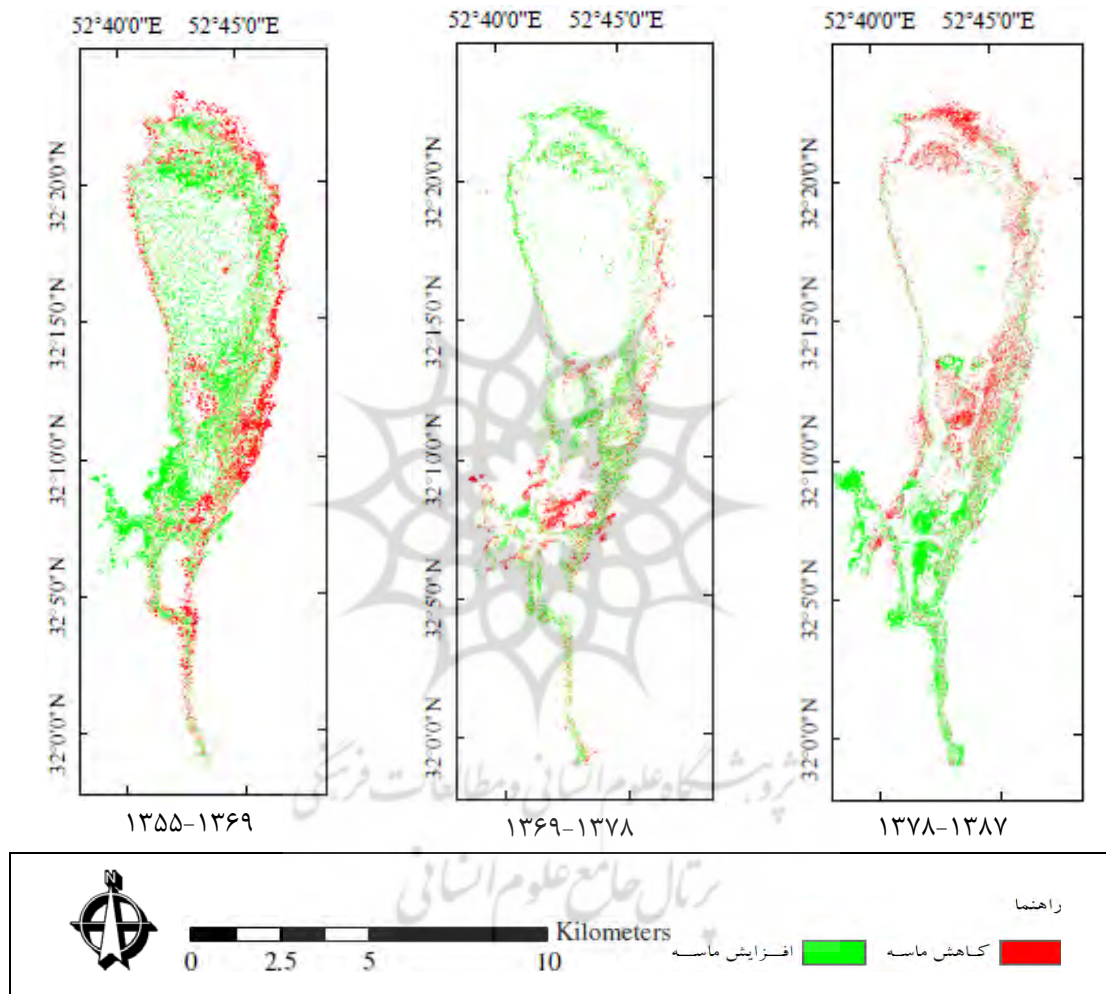
مقدار خطای اضافه - که طبق تعریف طبقه‌بندی ناصحیح پیکسل‌ها در کلاسی است که واقعاً به آن تعلق ندارند - و همچنین مقدار خطای حذف که مربوط به پیکسل‌هایی است که به کلاس معین تعلق دارند ولی جزء آن کلاس طبقه‌بندی نشده‌اند، در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین خطای حذف و اضافه در تصویر MSS به‌ویژه در کاربری اراضی لخت و شور مشاهده شد که با پایین بودن قدرت تفکیک مکانی آن نسبت به سایر سنجنده‌ها ارتباط دارد.

صحت کلی، از شاخص‌های بیان صحت نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی است، که توافق و همخوانی تصویر حاصل از طبقه‌بندی را با واقعیت زمینی بیان می‌کند. امروز داده‌های دورسنجی یکی از منابع مهم تأمین اطلاعات موضوعی مورد نیاز در مطالعات به‌شمار می‌آید و چنانچه تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها بر مبنای اطلاعات با صحت نامعین صورت پذیرد، کاربران را در ارزیابی و برنامه‌ریزی به‌شدت گمراه می‌کند (Makhdoum, et al., 2007). از این رو استفاده از نقشه‌های با صحت زیاد از مهم‌ترین ابزارهای بررسی و آشکارسازی تغییرات به‌شمار می‌آید (Castellana et al., 2007). فن و همکاران در مرحله تعیین صحت نقشه‌های تولیدی پوشش زمین و کاربری

پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای تالاب بین‌المللی گاوخونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

جدول ۵. تغییرات مساحتی تپه‌های ماسه‌ای ورزنه طی دوره مطالعاتی

دوره‌های زمانی	۱۳۵۵-۱۳۶۹	۱۳۶۹-۱۳۷۸	۱۳۷۸-۱۳۸۷
افزایش مساحت (ha)	۶۰۸۱	۳۳۲۶	۳۲۷۶
کاهش مساحت (ha)	۳۴۶۲	۱۹۳۶	۲۱۹۹
روند تغییرات (ha)	۲۶۱۹	۱۳۹۰	۱۰۷۷
مساحت کلی تپه‌های ماسه‌ای (ha)	۱۷۰۹۴	۱۸۴۸۴	۱۹۵۶۱



شکل ۴. تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در طی دوره مطالعاتی (۱۳۵۵-۱۳۸۷)

مربوط به تپه‌های ماسه‌ای در تصویر جدید موجود نباشد. این کاهش یا افزایش مساحت دلایل گوناگونی دارد. بخشی از این موضوع مربوط به دقت حاصل از تولید نقشه تپه‌های ماسه‌ای و متفاوت بودن سنجنده‌های بررسی شده و بخشی دیگر به دلیل

طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۹ مساحت تپه‌ها به ترتیب ۴ و ۲ درصد افزایش و کاهش داشته است. در اینجا منظور از افزایش مساحت، اضافه شدن پیکسل‌های تازه به نقشه تپه‌های ماسه‌ای در سال جدید است، و کاهش مساحت نیز زمانی رخ می‌دهد که پیکسل‌های

سبب است تا تپه‌ها در جای خود ثابت گردند (Pakzad, 2003) با این حال، تپه‌های داخل ارگ مرتباً در حال افزایش‌اند و به فعالیت خود ادامه می‌دهند.

۴- نتیجه‌گیری

تصاویر سری زمانی و استفاده از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی، در مطالعات مختلف شناسایی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی در سطوح وسیع با صرفه‌جویی در هزینه و وقت و نیز با افزایش دقت، بسیار مناسب است. با این حال در این روش بایستی صحت نقشه تولیدی برای انجام مقایسه مورد تأیید باشد. مقایسه و بررسی نتایج نقشه‌های ارگ گاوخونی طی دوره ۳۲ساله مطالعاتی، عدم گرایش دینامیکی تپه‌های ماسه‌ای مطالعه‌شده و داشتن گرایش استاتیکی داخل محدوده تپه‌های ماسه‌ای را نشان داد. این امر بیانگر پتانسیل بالای داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات ژئومورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و نوعی نوآوری در مطالعات دینامیکی و بررسی مورفولوژی این نهشته‌هاست که می‌تواند در مطالعات میدانی و تثبیت تپه‌ها کمک شایانی کند. نتایج تحقیق، فعال بودن تپه‌های ماسه‌ای داخل ارگ را نشان می‌دهد و اینکه تپه‌ها مرتباً در حال افزایش و پرکردن فضای داخلی ارگ هستند. به دلیل رطوبت ناشی از بالا بودن سطح آب سفره‌های زیرزمینی، این تپه‌ها فاقد حرکت دینامیکی و جابه‌جایی مشهود هستند، بنابراین نوعی آشفستگی ماسه در اثر وزش باد داخل محدوده ارگ وجود دارد. بیشترین آشفستگی در قسمت پایینی ارگ بوده است که تغییرات حرکتی زیادی را در مقایسه با قسمت‌های مرکزی ارگ نشان می‌دهد و سبب شده است تا در سطح جاده‌های مجاور تپه‌های ماسه‌ای در این قسمت همواره رسوبات ماسه‌ای در اثر وزش بادهای انباشته شود و مشکلاتی را در تردد وسایل نقلیه به همراه آورده است. لذا پیشنهاد می‌گردد برنامه‌های حفاظتی کنترل ماسه‌های باد در هر سه منطقه برداشت، حمل و رسوب‌گذاری بررسی و اجرا شود.

جابه‌جایی ماسه‌های موجود در سطح زمین در اثر وزش باد است و این کاهش مساحت در تمامی تصاویر مشاهده می‌گردد. با جابه‌جایی ذرات ماسه در یک مکان، این ذرات در قسمت دیگری از ارگ رسوب می‌کند و سبب افزایش مساحت ارگ می‌شود. افزون بر این در قسمت شمال‌غربی ارگ، اراضی کشاورزی تا قسمت‌های ابتدایی تپه‌های ماسه‌ای پیشروی داشته که در کاهش مساحت تپه‌های شمالی ارگ مؤثر بوده است. تشکیل تپه‌های بیشتر در قسمت‌های داخلی ارگ و حرکت ذرات ماسه در کناره‌های ارگ، نشان از فعالیت تپه‌های ماسه‌ای داخل ارگ دارد.

تغییرات مساحتی تپه‌ها طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۸، به صورت افزایش ۲ درصد و کاهش ۱ درصد تپه‌ها بوده است. افزایش مساحت این دوره بیشتر در قسمت میانی ارگ به سمت جنوب و نیز در حاشیه‌های ارگ مشاهده گردید. کاهش مساحت ایجادشده نیز در همین قسمت‌ها رخ داده است، که انتقال ذرات ماسه و رسوب مجدد آنها را در این نواحی تأیید می‌کند.

تغییرات سطح تپه‌ها در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۸ نیز به ترتیب حاکی از افزایش و کاهش ۲ و ۱ درصدی است. کاهش مساحت صورت گرفته اکثراً در قسمت حاشیه شمالی و بخش میانی ارگ است که بیشتر به دلیل حرکت و جابه‌جایی ماسه‌های روان است. در این بازه زمانی، افزایش مساحت صورت گرفته از قسمت میانی ارگ به سمت جنوب بوده است.

اصولاً تپه‌های ماسه‌ای دارای دو نوع گسترش دینامیکی و استاتیکی هستند. گسترش دینامیکی تپه‌ها در ارگ، حرکت ارگ را در جهت‌های مختلف براساس جهت وزش بادهای دربردارد و گسترش استاتیکی تپه‌ها به اصطلاح چاق‌شدگی ارگ را به دنبال دارد. در ارگ‌های موجود در مناطق کوهستانی و پلایا، گسترش تپه‌ها از نوع استاتیکی است و گسترش دینامیکی وجود ندارد (Ekhtesasi, 2004).

در این مطالعه، عدم گسترش دینامیکی در مناطق پلایایی به دلیل رطوبت ناشی از سفره‌های زیرزمینی،

۵- منابع

- Abdulaziz, A.M., Hurtado, J.M. and Al-Douri, R., 2009, **Application of Multitemporal Landsat Data to Monitor Land Cover Changes in the Eastern Nile Delta Region, Egypt**, International Journal of Remote Sensing, 30, PP. 2977-2996.
- Ahmadi, H., 1998, **Applied Geomorphology, Desert Wind Erosion**, Vol. 2, Tehran University.
- Ahmadi, H., Feiznia, S., Ekhtesasi, M.R. and Ghanei-Bafghi, M.J., 2001, **Source Identification of South Bafgh Sand Dunes**, Biaban, 6, PP. 33-49.
- AlaviPanah, S.K., 2006, **Application of Remote Sensing in Geosciences (Earth Sciences)**, Tehran University, Tehran.
- Castellana, L., D'Addabbo, A. and Pasquariello, G., 2007, **A Composed Supervised-Unsupervised Approach to Improve Change Detection from Remotesensing**, Pattern Recognition Letters, 28, PP. 405-413.
- Dong, Z., Wang, X. and Chen, G., 2000, **Monitoring Sand Dune Advance in the Taklimakan Desert**, Geomorphology, 35, PP. 219-231.
- Ekhtesasi, M.R., 2004, **Investigating Morphometric and Morphodynamic Characteristics of Wind Erosion in Yazd Plain and Determining Their Indices for Desertification Models**, Ph.D. thesis, Tehran University, Iran.
- Fan, F., Wang, Y. and Wang, Z., 2008, **Temporal and Spatial Change Detecting (1998-2003) and Predicting of Land Use and Land Cover in Core Corridor of Pearl River Delta (China) By Using TM and ETM⁺ Images**, Environmental Monitoring and Assessment, 137, PP. 127-147.
- Goudarzi, M., Farahpour, M., and Mosavi, S.A., 2007, **Land Cover and Rangeland Classification Map Using Land Sat Satellite Image (TM) (Case study) Namrood Watershed**, Iranian Journal of Range and Desert Research, 13, PP. 265-277.
- Hereher, M., 2010, **Sand Movement Patterns in the Western Desert of Egypt: An Environmental Concern**, Environ Earth Sci, 59, PP. 1119-1127.
- Janke, J.R., 2002, **An Analysis of the current stability of the Dune Field at Great Sand Dunes National Monument using temporal TM imagery (1984-1998)**, Remote Sensing of Environment, 83, PP. 488-497.
- Kesgin, B. and Nurlu, E., 2009, **Land Cover Changes on the Coastal Zone of Candarli Bay, Turkey Using Remotely Sensed Data**, Environmental Monitoring and Assessment, 157, PP. 89-96.
- Khalifeh, E., Kavianpour, M.R., Pakparvar, M. and Vafaei, S., 2007, **A Combination Method of Image Processing and Wind Analysis for Identification of Sand Sources in Wind Erosion (A Case Study of Ardestan)**, Iranian journal of Range and Desert Reseach, 14, PP. 204-221.
- Lambin, E.F., 1997, **Modeling and Monitoring Land-cover Change Processes in Tropical Regions**, Physical Geography, 21, PP. 375-393.

- Levin, N., Ben-Dor, E. and Karnieli, A., 2004, **Topographic Information of Sand Dunes as Extracted from Shading Effects Using Landsat Images**, *Remote Sensing of Environment*, 90, PP. 190-209.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 2000, **Remote Sensing and Image Interpretation**, John Wiley and Sons, New York.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E., 2004, **Change Detection Techniques**, *International Journal of Remote Sensing*, 25, PP. 2365-2407.
- Lunetta, R.S. and D. Elvidge, C., 1999, **Remote Sensing Change Detection (Environmental Monitoring Methodes and Applications)**, Taylor & Francis Ltd.
- Makhdoum, M. E., Darvishsefat, A.A., Jafarzadeh, H. and Makhdoum, A.F., 2007, **Evaluation and Schematization of Environment Using to Geographic Information System (GIS)**, Tehran university.
- Mason, J.A., Swinehart, J.B., Lu, H.Y., Miao, X.D., Cha, P.E. and Zhou, Y.L., 2008, **Limited Change in Dune Mobility in Response to a Large Decrease in Wind Power in Semi-arid Northern China Since the 1970s**, *Geomorphology*, 102, PP. 351-363.
- Memarian Khalilabad, H., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R. and Alavipanah, S.K., 2005, **Source Studying of Eolian Sediments in Rafsanjan Region**, *Iranian J. Natural Res.*, 58, PP. 531-542.
- Oliveira, F.S.C., Kampel, M. and Amaral, S., 2008, **Multitemporal Assessment of the Geomorphologic Evolution of the Restinga of Marambaia, Rio de Janeiro, Brazil**, *International Journal of Remote Sensing*, 29, PP. 5585-5594.
- Pakzad, H.R., 2003, **Sedimentary Facies Associations of the Lower Reaches of the Zayandeh River and the Gavkhoni Playa Lake Basin (Esfahan Province, Iran)**, Ph.D. thesis, University of Clausthal, Germany.
- Rembold, F., Carnicelli, S., Nori, M. and Ferrari, G. A., 2000, **Use of Aerial Photographs, Landsat TM Imagery and Multidisciplinary Field Survey for Land-cover Change Analysis in the Lakes Region (Ethiopia)**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2, PP. 181-189.
- Shalaby, A. and Tateishi, R., 2007, **Remote Sensing and GIS for Mapping and Monitoring Land Cover and Land Use Changes in the Northwestern Coastal Zone of Egypt**, *Applied Geography*, 27, PP. 28-41.
- Torres-Vera, M.A., Prol-Ledesma, R.M. and Garcia-Lopez, D., 2009, **Three Decades of Land Use Variations in Mexico City**, *International Journal of Remote Sensing*, 30, PP. 138-117.
- Yang, X., Ding, Z., Fan, X., Zhou, Z. and Ma, N., 2007, **Processes and Mechanisms of Desertification in Northern China During the Last 30 years, with a Special Reference to the Hunshandake Sandy Land, Eastern Inner Mongolia**, *CATENA*, 71, PP. 2-12.
- Yao, Z.Y., Wang, T., Han, Z.W., Zhang, W.M. and Zhao, A.G., 2007, **Migration of Sand Dunes on the Northern Alxa Plateau, Inner Mongolia, China**, *Journal of Arid Environments*, 70, PP. 80-93..