

## بررسی تغییرات کاربری اراضی در زیر حوزه قلعه شاهرخ با استفاده از تکنیک سنجش از دور (دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۵۴)

سوسن براتی قهفرخی<sup>۱\*</sup>، سعید سلطانی کوپایی<sup>۲</sup>، سید جمال‌الدین خواجه‌الدین<sup>۳</sup> و بهزاد رایگانی<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۴/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۸)

### چکیده

در این تحقیق، جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی، حوزه آبخیز قلعه شاهرخ با مساحت ۱۵۰۹۸۰/۱ هکتار انتخاب گردید. داده سنجنده‌های TM، MSS، ETM+ از ماهواره لندست برای این منظور استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی حوزه، پس از انجام تصحیحات و آنالیزهای مختلف بارسازی شامل PCA، FCC روی تصاویر، منطقه با استفاده از GPS، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و اطلاعات جانبی دیگر مورد بازدید صحرایی قرار گرفت. واحدهای کاربری اراضی مختلف با انجام نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده بررسی شد. پس از اعمال روش‌های مختلف طبقه‌بندی، صحت نقشه‌های تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت و نقشه‌های نهایی کاربری اراضی حوزه در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۶۹ و ۱۳۸۱ به روش هیبرید و با دقت قابل قبول تولید گردید. سپس روند تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در دوره اول مطالعه (سال ۱۳۵۴) بیشترین وسعت کاربری اراضی مربوط به مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده با ۴۱/۶ درصد و کمترین وسعت مربوط به کشاورزی آبی با ۱/۵ درصد بوده است. هم‌چنین در دوره دوم (۱۳۶۹-۱۳۵۴) بیشترین وسعت کاربری مربوط به مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده با ۴۳/۴ درصد و کمترین وسعت مربوط به کشاورزی آبی با ۴/۱ درصد است. در دوره سوم مطالعه (۱۳۸۱-۱۳۶۹) بیشترین وسعت کاربری آبی با ۳۵/۶ درصد مربوط به کشاورزی دیم و کمترین وسعت مربوط به کشاورزی آبی با ۷ درصد می‌باشد. طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۹ بیشترین تغییر کاربری شامل تبدیل مراتع با پوشش نیمه انبوه به دیم‌زارها و اراضی زراعی آبی و در درجه دوم تبدیل این مراتع به مراتع تخریب یافته با پوشش پراکنده است. در طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۱ بیشترین تغییر کاربری در مراتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده است که به همراه بخشی از مراتع نیمه انبوه به دیم‌زارها و زراعت آبی تبدیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، قلعه شاهرخ، تصاویر ماهواره‌ای، MSS، TM، ETM+

### مقدمه

با دگرگونی‌های مشاهده شده در نواحی اطراف دریای مدیترانه شده است. این تغییرات نتیجه فعالیت‌هایی مانند مهاجرت مردم به کناره‌های ساحلی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، چرای

سال‌ها پیش، توجه زیادی به موضوع تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین (Land Cover) و ارتباط مستقیم و غیرمستقیم آن

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. به ترتیب استادیار و دانشیار آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانش آموخته کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s\_barati@na.iut.ac.ir

اراضی، فعالیت‌های گسترده وابسته به توریسم و غیره بوده است (۲۳). در اروپا تغییرات کاربری اراضی محلی به علت سیاست‌های تجاری اروپائیان، نتایج دور از انتظاری برای ساختار زمین و مناظر گوناگون ایجاد کرده است (۱۴). به منظور حفظ جنگل‌ها و مراتع، مدیریت و توسعه این منابع ارزشمند، شناخت و مطالعه مستمر آنها ضروری است. اطلاع از تغییر کاربری اراضی جهت بررسی عوامل و علل آنها در یک دوره زمانی می‌تواند مورد توجه برنامه ریزان و مدیران باشد (۳). استفاده از روش‌های سنتی جهت بررسی تغییرات کاربری‌های اراضی و پوشش اراضی مانند نقشه‌برداری زمینی، عموماً وقت‌گیر و پرهزینه است اما استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌هایی مانند دید وسیع و یک‌پارچه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف گسترده انرژی الکترومغناطیسی جهت ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش تکراری و امکان به‌کارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارها، در دنیا با استقبال زیادی روبه‌رو بوده است (۸). از جمله کاربرد تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای تهیه نقشه کاربری اراضی و بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های مختلف می‌باشد. در زمینه تعیین کاربری و پوشش اراضی و بررسی تغییرات کاربری‌ها مطالعات زیادی صورت گرفته است.

کارلسون و همکاران، طی تحقیقی که در شمال شرق آمریکا انجام دادند از داده‌های TM (Thematic Mapper) و AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) استفاده کرده و تغییرات کاربری اراضی و پوشش اراضی را در اثر توسعه شهری، تغییرات میکروکلیمات و هیدرولوژی بررسی کردند. در این مطالعه از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شده بود و اراضی منطقه را به ۴ طبقه: ۱- مناطق شهری و مسکونی ۲- اراضی جنگلی ۳- اراضی کشاورزی (چراگاه و مناطق عاری از پوشش) و ۴- آب، تقسیم‌بندی کردند. نقشه‌های تهیه شده نشان داد که اراضی مسکونی افزایش یافته و اراضی کشاورزی کاهش یافته‌اند (۱۳). گوماراسکا و همکاران، تغییرات کاربری اراضی را از سال ۱۸۸۸ تا ۱۹۹۰ در منطقه‌ای از میلان ایتالیا با استفاده از

نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و داده‌های رقومی TM بررسی کردند. آنها در این مطالعه نتیجه گرفتند که در طول یک قرن، اراضی مسکونی از ۲/۶ درصد به ۳۲ درصد افزایش یافته و سطح چمن‌زارها و مراتع کاهش یافته و به مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند. هم‌چنین اراضی جنگلی تغییر چندانی نکرده بود (۱۵).

در سال ۲۰۰۰، تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز زالو (Xalo) در جنوب شرقی اسپانیا با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) مربوط به سال ۲۰۰۰ و MSS سال ۱۹۷۵ بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات مهمی در کاربری اراضی به شکل رهاسازی زمین‌های کشاورزی و تغییر پوشش زمین به دلیل آتش‌سوزی جنگل در منطقه صورت گرفته است (۲۴). کارلسون و همکاران، با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای TM از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۹ در منطقه کاستاریکا، اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی نموده و تغییرات کاربری اراضی را بررسی نمودند. با استفاده از اطلاعات TM، طبقه‌بندی نظارت شده انجام دادند و کاربری‌ها را به ۴ گروه شامل: ۱- جنگل ۲- زمین‌های زراعی ۳- چراگاه ۴- اراضی شهری طبقه‌بندی کردند که دقت تفکیک جنگل ۹۱ درصد بوده است (۱۲).

با توجه به این که هدف نهایی در حوزه آبخیز اعمال مدیریت جامع، هماهنگ و یک‌پارچه بر کلیه منابع آبخیز است به نحوی که ضمن بهره‌برداری مناسب و منطقی و بهینه از منابع طبیعی، کشاورزی و انسانی، میزان فرسایش و هدر رفت خاک به حداقل ممکن تقلیل یابد، تحقیق حاضر در صدد تعیین انواع کاربری اراضی و بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در بخشی از حوزه زاینده رود می‌باشد. حوزه آبخیز مورد مطالعه (حوزه قلعه شاهرخ) با مساحت ۱۵۰۹۸۰/۱ هکتار با کاربری‌های مختلف مرتع، کشاورزی آبی و دیم به دلیل تغییرات به‌وجود آمده در کاربری‌ها، وجود تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره‌های مختلف و اطلاعات قابل دسترس برای مطالعه و بررسی انتخاب شد. لازم به ذکر است که چون

استفاده را نشان می‌دهد. این داده‌ها مربوط به مسیر (Path) ۱۶۴ و ردیف‌های (Row) ۳۷ و ۳۸ می‌باشد.

لازم به ذکر است که چون هدف مطالعه مورد نظر، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی زیرحوزه قلعه شاهرخ است داده‌ها به گونه‌ای از میان تصاویر قابل دسترس انتخاب شد که تقریباً تاریخ تصاویر از نظر ماه به هم نزدیک باشد.

### پیش پردازش و پردازش اطلاعات ماهواره‌ای برای تهیه نقشه

#### کاربری اراضی

#### تصحیح رادیومتریک

اعمال تصحیح رادیومتریک روی داده‌های چندزمانه ضروری است. با استفاده از این تصحیح اثر اختلاف زاویه خورشید و ارتفاع در داده‌های چندزمانه بر طرف گردیده و آثار اتمسفر، توپوگرافی و خطاهای سنجنده روی داده‌های رقومی بر طرف می‌گردد (۲۰ و ۲۵). در این راستا با توجه به اطلاعات موجود در فرا داده (Meta data) تصاویر، کلیه تصاویر تصحیح و دارای مختصات یکسان گردیدند.

#### تصحیح هندسی

تصاویر اولیه و خام داده‌های ماهواره‌ای بنا به دلایل مختلف مانند گردش زمین و تغییر در ارتفاع ماهواره دارای هندسه ناصحیح بوده و در این حالت قابل استفاده با سایر داده‌های ماهواره‌ای و مقایسه با یکدیگر نیستند (۷). بنابراین برای این که بتوان داده‌های مختلف را پردازش و تفسیر کرد ابتدا تصاویر چند طیفی و چندزمانه به یک سیستم مختصات واحد تبدیل شدند. در این تحقیق با برداشت نقاط کنترل زمینی (۲۰ نقطه) از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) اقدام به تصحیح هندسی تصاویر در محیط نرم افزار ERDAS گردید. خطاهای به‌دست آمده برای سنجنده ETM+, TM, MSS به ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۰/۵۵ و ۰/۶۱ پیکسل بود که بسیار مطلوب می‌باشد. در مرحله بعد با کمک نمونه‌برداری مجدد (Resample) به روش نزدیک‌ترین همسایه

تصاویر ماهواره‌ای موجود مربوط به سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۶۹ و ۱۳۸۱ می‌باشد، دوره زمانی ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۱ برای مطالعه انتخاب گردید.

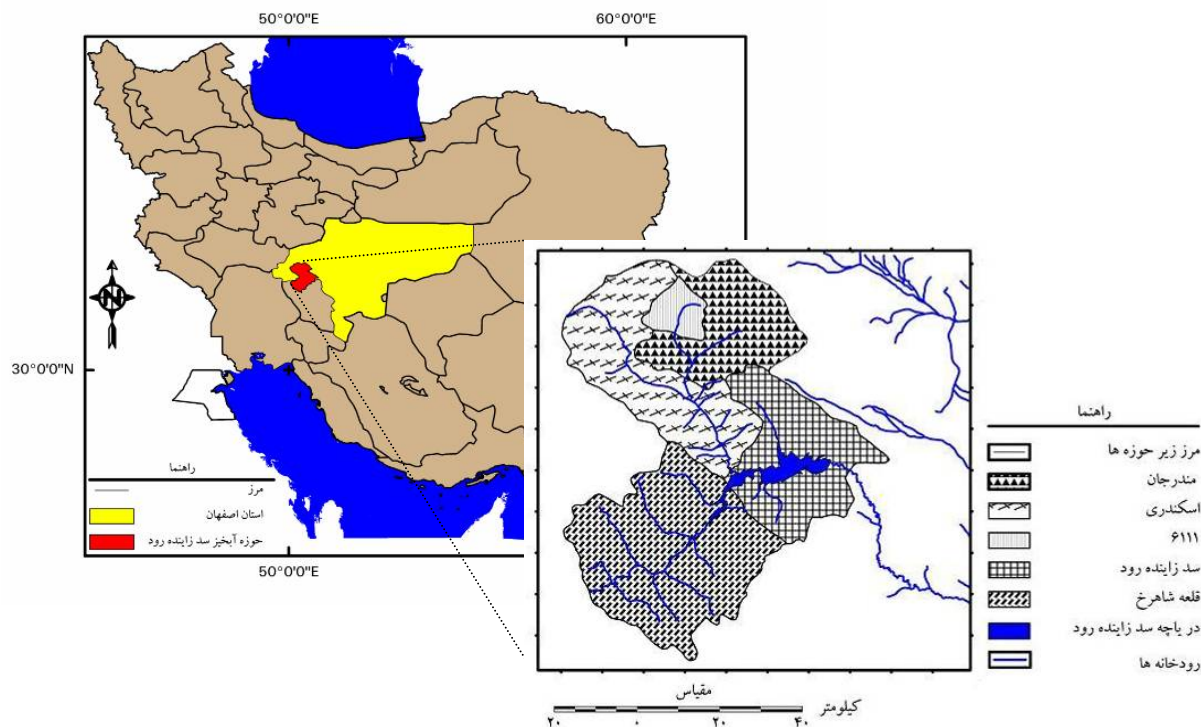
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز قلعه شاهرخ (یکی از زیر حوزه‌های سد زاینده رود) با مساحت ۱۵۰۹۸۰/۱ هکتار می‌باشد که در محدوده ۴۴° ۲' ۵۰" تا ۴۶° ۵۶' ۵۰" طول شرقی و ۱۷° ۵۹" تا ۳۲° ۴۳' ۴۶" عرض شمالی واقع شده است. براساس مطالعات ارزیابی و قابلیت اراضی، اراضی حوزه آبخیز قلعه شاهرخ از ۵ تیپ اصلی اراضی، ۸ واحد اراضی و ۱۴ جزء واحد اراضی تشکیل شده است. تیپ‌های اصلی شامل کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها، دشت‌های رودخانه‌ای و واریزه‌های بادبزنی شکل سنگ‌ریزه‌دار می‌باشد. هم‌چنین از لحاظ پوشش گیاهی منطقه دارای ۵ تیپ است (۱۰). شکل (۱) موقعیت زیرحوزه قلعه شاهرخ نسبت به کل حوزه سد زاینده رود و ایران را نشان می‌دهد.

#### اطلاعات و ابزارهای مورد استفاده

در این مطالعه داده‌های سنجنده چند طیفی (Multi MSS (spectral scanner سال ۱۹۷۵، TM سال ۱۹۹۰ و ETM+ سال ۲۰۰۲ از ماهواره لندست، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۰ جهت شناسایی منطقه، نقشه DEM (Digital Elevation Model) منطقه به‌منظور انجام تصحیح توپوگرافی بر روی داده‌های ماهواره‌ای، اطلاعات پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (۱۰)، GPS مدل Etrex برای تعیین مختصات نقاط نمونه‌برداری و نرم افزارهای تفسیر و پردازش داده‌های ماهواره‌ای شامل IDRISI و ERDAS استفاده شدند. جدول ۱ مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورد



شکل ۱. موقعیت زیر حوزه قلعه شاهرخ در حوزه آبخیز سد زاینده رود و ایران

(Nearest neighbor) تصاویر در جهت شمال توجیه و گردانده شدند. لازم به توضیح است که ابتدا تصویر ETM+ تصحیح گردید و سپس دو تصویر TM و MSS به تصویر ETM+ ثبت داده شد.

#### تصحیح توپوگرافی

پس از تصحیح اتمسفریک، با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و کوهستانی بودن بخش اعظمی از منطقه، تصحیح توپوگرافی روی داده‌ها صورت گرفت. برای انجام این کار از عملگرهای موجود در نرم افزار ERDAS برای نرمال کردن توپوگرافی، از اعداد زاویه و ارتفاع خورشید و هم‌چنین نقشه DEM منطقه استفاده گردید. لازم به توضیح است که نقشه DEM از نقشه‌های راقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه با فاصله خطوط ۱۰ متر تهیه گردید.

پس از جداسازی منطقه مورد مطالعه، جهت افزایش وضوح تصاویر پردازش‌های زیر بر روی آنها اعمال گردید :

جهت افزایش کنتراست و وضوح داده‌های اولیه ماهواره‌ای و تشخیص بهتر پدیده‌های مختلف زمینی از روش‌های مختلف بارزسازی تصویر استفاده می‌گردد. در طبقه‌بندی، برای ایجاد تضاد اطلاعاتی بیشتر و بارزتر شدن پدیده‌ها از باندهایی که با هم هم‌بستگی کمتری دارند، استفاده می‌شود (۲۳).

الف) انتخاب باندها جهت طبقه‌بندی و ساختن تصاویر رنگی کاذب:

سنجنده‌های MSS ، TM و ETM+ به ترتیب به دلیل داشتن ۴ ، ۷ و ۸ باند مختلف، تصاویر رنگی کاذب زیادی را ارائه می‌دهند و این تصاویر قابلیت زیادی در شناخت عوارض و پدیده‌های مختلف زمینی دارند. بهترین ترکیبات باندهای MSS ، ۴۳۲ ، در TM ، ۴۵۷ ، ۳۴۷ و ۱۴۶ و در ETM+ ، ۳۴۷ ، ۴۵۷ و ۴۳۲ می‌باشد که به ترتیب در RGB قرار داده شدند (۱).

جدول ۱. مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

| سنجنده | لندست | شماره پاند | گستره طیفی (μm) | تفکیک مکانی (m) | زمان اخذ داده       | قدرت |
|--------|-------|------------|-----------------|-----------------|---------------------|------|
| MSS    | ۱     | ۴          | ۰/۵-۰/۶         |                 |                     |      |
|        |       | ۵          | ۰/۶-۰/۷         | ۷۹/۸۲           | ۴ اکتبر سال ۱۹۷۵    |      |
|        |       | ۶          | ۰/۷-۰/۸         |                 |                     |      |
|        |       | ۷          | ۰/۸-۱/۱         |                 |                     |      |
|        |       | ۱          | ۰/۴۵-۰/۵۲       |                 |                     |      |
|        |       | ۲          | ۰/۵۲-۰/۶        |                 |                     |      |
|        |       | ۳          | ۰/۶۳-۰/۶۹       | ۳۰              |                     |      |
| TM     | ۵     | ۴          | ۰/۷۶-۰/۹۰       |                 | ۱۷ سپتامبر سال ۱۹۹۰ |      |
|        |       | ۵          | ۱/۵۵-۱/۷۵       |                 |                     |      |
|        |       | ۶          | ۱۰/۴-۱۲/۵       | ۱۲۰             |                     |      |
|        |       | ۷          | ۲/۰۸-۲/۳۵       | ۳۰              |                     |      |
|        |       | ۱          | ۰/۴۵-۰/۵۲       |                 |                     |      |
|        |       | ۲          | ۰/۵۲-۰/۶        |                 |                     |      |
|        |       | ۳          | ۰/۶۳-۰/۶۹       | ۳۰              |                     |      |
| ETM+   | ۷     | ۴          | ۰/۷۶-۰/۹۰       |                 | ۹ آگوست ۲۰۰۲        |      |
|        |       | ۵          | ۱/۵۵-۱/۷۵       |                 |                     |      |
|        |       | ۶          | ۱۰/۴-۱۲/۵       | ۶۰              |                     |      |
|        |       | ۷          | ۲/۰۸-۲/۳۵       | ۳۰              |                     |      |
|        |       | ۱          | ۰/۴۵-۰/۵۲       |                 |                     |      |
|        |       | ۲          | ۰/۵۲-۰/۶        |                 |                     |      |
|        |       | ۳          | ۰/۶۳-۰/۶۹       | ۳۰              |                     |      |
|        |       | ۸          | ۰/۵-۰/۹         | ۱۵              |                     |      |

ب) آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA : Principal Component Analysis)

یکی از روش‌هایی است که با متراکم کردن اطلاعات در تصویر به تفسیر داده‌های ماهواره‌ای کمک می‌کند. استفاده از این دستور به خاطر متأثر بودن آن از عوامل اتمسفری و زمان تصویربرداری در صورت چندزمانه بودن تصاویر، کارایی بیشتری خواهد داشت. در این تحقیق بر ترکیب باندهای داده‌های مربوط به هر تصویر، PCA اعمال شده و در ادامه از نتایج آنها برای تشخیص عوارض مختلف سطح زمین استفاده شد.

ج) شاخص گیاهی NDVI

این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می‌دهد. پوشش گیاهی متراکم و نیز مناطق با لاشبرگ و یا مناطقی که عاری از پوشش گیاهی هستند نیز به خوبی از طریق این شاخص قابل شناسایی هستند. ارزش عددی شاخص NDVI بین -۱ تا ۱ متغیر می‌باشد. ارزش‌های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و محل‌های خیس و آب ارقام نزدیک به -۱ را دارا هستند و از طریق معادله

$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$  محاسبه گردید (۲۲).

### بازدید صحرایی

در بازدیدهایی که در مردادماه سال ۱۳۸۴ انجام شد، انواع کاربری‌های مختلف مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت و به شرح زیر تعیین شد: ۱- کشاورزی آبی ۲- کشاورزی دیم ۳- مرتع نیمه انبوه ۴- مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده ۵- رخنمون سنگی ۶- رودخانه. در منطقه، کاربری‌های اراضی با طبقه‌بندی اولیه به گروه‌های کوچک‌تر تقسیم گردید، سپس با قرارگرفتن در وسط آن گروه، نمونه‌برداری تصادفی اجرا شد که آن را نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده می‌نامند (۳). در هریک از نقاط نوع کاربری و مختصات جغرافیایی (با استفاده از دستگاه GPS) ثبت گردید.

### طبقه‌بندی نظارت شده و ایجاد لایه‌های اطلاعاتی

تفسیر تصاویر به معنی تبدیل داده‌های خام به اطلاعات قابل استفاده است که شامل تشخیص، شناسایی و طبقه‌بندی عوارض مختلف سطح زمین می‌شود. در این مطالعه معیار انتخاب ترکیب باندها برای تهیه لایه‌های مختلف کاربری بر این مبنای بود که طبقه‌بندی‌های رقومی بر پایه اختلاف‌های طیفی پدیده‌های گوناگون بر روی باندهای مختلف استوار است و تفکیک پذیری طیفی کلاس‌ها از طریق تفاوت در میزان متوسط بازتاب‌های کلاس‌ها امکان‌پذیر می‌گردد، لذا بایستی باندهایی را در ترکیب باندی انتخاب نمود که با یکدیگر هم‌بستگی کمتری داشته و در ترکیب بتوانند اطلاعات را با تضاد بیشتری نمایان کنند. با توجه به این که انتخاب بهترین ترکیب باندی از طریق مقایسه چشمی مشکل و وقت‌گیر است لذا برای این کار از شاخص کمی (Optimum Index Factor) OIF استفاده گردید. این شاخص بر اساس هم‌بستگی و واریانس بین باندها به انتخاب بهترین ترکیب سه تایی باندها می‌پردازد. در واقع ترکیب‌های باندی که OIF بالاتری دارند نشان‌دهنده این است که دارای اطلاعات (انحراف معیار) و تکرار کم (هم‌بستگی کم

بین باندها) می‌باشند. مقدار OIF از رابطه ۱ به دست آمد (۵) که نتایج آن در جدول‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 SD_i}{\sum_{j=1}^3 |CC_j|} \quad [1]$$

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

$\sum_{j=1}^3 |CC_j|$ : مجموع قدر مطلق ضرایب هم‌بستگی بین

۲ باند از ۳ باند

بر اساس این نتایج بهترین ترکیبات باندی که دارای OIF بالاتری بودند برای تصویر MSS، باندهای ۲، ۳ و ۴ و برای تصاویر TM و ETM+، باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ به دست آمد. پس از انتخاب بهترین ترکیب باندی با توجه به اطلاعات قبلی و شناخت پدیده‌های موجود در داده‌های مورد استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده گردید. در مرحله نخست مختصات نقاط نمونه‌برداری شده روی تصویر ETM+ سال ۲۰۰۲ منتقل گردید و با استفاده از این نقاط و یادداشت‌برداری‌هایی که در صحرا از کاربری‌های اطراف این نقاط انجام شده بود و همچنین نقشه‌های تهیه شده از طبقه‌بندی نظارت نشده که بیانگر خصوصیات طیفی سطح زمین با کاربری معلوم است، روی تصویر پلی‌گون‌های نمونه‌برداری به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی ایجاد گردید.

به منظور تهیه نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۹۰ با توجه به این که اطلاعات زمینی مربوط به این سال‌ها در دسترس نبود با تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب تهیه شده برای تصویر هر سنجنده و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی موجود و سعی و خطا، نمونه‌هایی که معرف بازتاب کاربری و پوشش‌های مورد نظر بودند، انتخاب گردیدند (۳ و ۴). سپس با معرفی نمونه‌های تعلیمی به نرم افزار ERDAS طبقه‌بندی نظارت شده با روش حداکثر احتمال روی تصاویر انجام شد.

جدول ۲. مقادیر OIF برای ترکیب باندی با استفاده از ۴ باند MSS

| OIF      | $\sum_{i=1}^3 SD_i$ | $\sum_{j=1}^3  CC_j $ | ترکیب باندی |
|----------|---------------------|-----------------------|-------------|
| ۱۴/۹۲۲۰۴ | ۳۹/۷۶۷              | ۲/۶۶۴۹۸۳              | ۴-۳-۲       |
| ۱۴/۲۵۸۰۲ | ۳۹/۱۲۶              | ۲/۷۴۴۱۴               | ۳-۲-۱       |
| ۱۴/۲۵۲۱۴ | ۳۶/۲۹۴              | ۲/۵۴۶۵۶۵              | ۴-۲-۱       |
| ۱۳/۵۹۵۷۲ | ۳۵/۸۷۵              | ۲/۶۳۸۶۹۷              | ۴-۳-۱       |

جدول ۳. مقادیر OIF برای ۲۰ ترکیب باندی با استفاده از ۶ باند TM

| OIF      | $\sum_{i=1}^3 SD_i$ | $\sum_{j=1}^3  CC_j $ | ترکیب باندی | OIF      | $\sum_{i=1}^3 SD_i$ | $\sum_{j=1}^3  CC_j $ | ترکیب باندی |
|----------|---------------------|-----------------------|-------------|----------|---------------------|-----------------------|-------------|
| ۲۱/۶۰۳۹۳ | ۵۸/۹۹۹              | ۲/۷۳۰۹۳۸              | ۱-۲-۵       | ۲۶/۰۷۷۰۴ | ۷۰/۴۲۷              | ۲/۷۰۰۷۲۸              | ۴-۵-۷       |
| ۲۰/۶۶۸۷۱ | ۵۱/۸۳۲              | ۲/۵۰۷۷۵۲              | ۱-۴-۷       | ۲۶/۰۵۰۱۹ | ۶۹/۸                | ۲/۶۷۹۴۴۳              | ۳-۴-۵       |
| ۲۰/۰۷۴   | ۵۴/۴۸۷              | ۲/۷۱۴۳۰۷              | ۱-۳-۷       | ۲۵/۸۶۲۱۹ | ۷۳/۰۸۲              | ۲/۸۲۵۸۲۴              | ۳-۵-۷       |
| ۱۹/۵۹۷۲۵ | ۵۱/۲۰۵              | ۲/۶۱۲۸۶۶              | ۱-۳-۴       | ۲۵/۴۸۷۳۳ | ۶۸/۰۵۸              | ۲/۶۷۰۲۶۸              | ۱-۵-۷       |
| ۱۸/۵۸۷۲۸ | ۴۸/۴۲۴              | ۲/۶۰۵۲۲۳              | ۲-۴-۷       | ۲۵/۱۴۵۸۷ | ۶۴/۷۷۶              | ۲/۵۷۶۰۱               | ۱-۴-۵       |
| ۱۸/۱۲۲۸۳ | ۵۱/۰۷۹              | ۲/۸۱۸۴۸۹              | ۲-۳-۷       | ۲۴/۸۹۳۸۷ | ۶۷/۴۳۱              | ۲/۷۰۸۷۳۹              | ۱-۳-۵       |
| ۱۷/۶۸۰۰۹ | ۴۷/۷۹۷              | ۲/۷۰۳۴۳۶              | ۲-۳-۴       | ۲۳/۳۰۱۲۷ | ۶۴/۶۵               | ۲/۷۷۴۵۲۷              | ۲-۵-۷       |
| ۱۶/۸۹۰۷۱ | ۴۶/۰۵۵              | ۲/۷۲۶۶۴۷              | ۱-۲-۷       | ۲۳/۰۱۳۰۸ | ۶۱/۳۶۸              | ۲/۶۶۶۶۵۸              | ۲-۴-۵       |
| ۱۶/۰۵۷۶۴ | ۴۲/۷۷۳              | ۲/۶۶۳۷۱۷              | ۱-۲-۴       | ۲۲/۸۱۵۶۸ | ۶۴/۰۲۳              | ۲/۸۰۶۰۹۷              | ۲-۳-۵       |
| ۱۵/۷۴۸۳۷ | ۴۵/۴۲۸              | ۲/۸۸۴۶۱۶              | ۱-۲-۳       | ۲۱/۶۳۵۷۹ | ۵۶/۸۵۶              | ۲/۶۲۷۸۶۹              | ۳-۴-۷       |

#### الف) تهیه لایه کاربری اراضی رخنمون سنگی

با در اختیار داشتن تصاویر رنگی کاذب از تصویر ETM+ سال ۲۰۰۲ و با استفاده از مختصات نقاط برداشت شده با GPS و نیز آنالیز PCA که بر روی باندهای هفتگانه صورت گرفت، رخنمون‌های سنگی قابل تشخیص شدند. پس از شناسایی، با انتخاب نمونه‌های تعلیمی و تطابق هندسی منحنی‌های بازتاب روی باندهای مناسب با روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی صورت گرفت و در نهایت لایه کاربری اراضی رخنمون سنگی منطقه تهیه گردید.

لازم به یادآوری است که چون طی دوره مورد بررسی در این تحقیق (حدود ۳۰ سال) احتمال تغییر در رخنمون‌های سنگی بسیار کم است لایه تهیه شده تحت عنوان رخنمون سنگی از تصویر ETM+ سال ۲۰۰۲ برای دو تصویر دیگر نیز عیناً به کار برده شد.

#### ب) تهیه لایه کاربری اراضی کشاورزی آبی

محل نمونه‌های تعلیمی این لایه با استفاده از تصاویر رنگی کاذب داده‌های MSS، TM و ETM+ و با توجه به نقاطی که

جدول ۴. مقادیر OIF برای ۳۵ ترکیب باندی با استفاده از ۷ باند ETM+

| OIF      | $\sum_{i=1}^3 SD_i$ | $\sum_{j=1}^3  CC_j $ | ترکیب باندی | OIF      | $\sum_{i=1}^3 SD_i$ | $\sum_{j=1}^3  CC_j $ | ترکیب باندی |
|----------|---------------------|-----------------------|-------------|----------|---------------------|-----------------------|-------------|
| ۲۵/۲۷۸۳۷ | ۶۶/۷۰۵              | ۲/۶۳۸۸۱۷              | ۵-۷-۸       | ۳۲/۴۱۱۹  | ۶۶/۶۷۱              | ۲/۰۵۶۹۹۱              | ۷-۴-۳       |
| ۲۳/۸۰۸۶۴ | ۵۳/۱۹۵              | ۲/۲۳۴۲۷۳              | ۴-۷-۸       | ۳۱/۱۷۰۲۲ | ۶۸/۲۰۵              | ۲/۱۸۸۱۴۷              | ۵-۴-۳       |
| ۲۳/۶۰۹۱۹ | ۵۴/۳۱۹              | ۲/۳۰۰۷۵۷              | ۳-۴-۸       | ۲۹/۸۲۶۹۸ | ۶۷/۰۸۱              | ۲/۲۴۹۰۰۴              | ۷-۵-۴       |
| ۲۲/۲۲۵۳۴ | ۵۴/۷۲۹              | ۲/۴۶۲۴۶               | ۴-۵-۸       | ۲۹/۳۶۷۳۸ | ۸۰/۱۸۱              | ۲/۷۳۰۲۷۴              | ۷-۵-۳       |
| ۲۲/۲۰۰۰۳ | ۵۷/۱۲               | ۲/۵۷۲۹۷               | ۲-۵-۸       | ۲۷/۵۸۷۴۳ | ۵۱/۴۴۲              | ۱/۸۶۴۶۹               | ۷-۴-۱       |
| ۲۲/۱۲۷۶۷ | ۵۵/۵۸۶              | ۲/۵۱۲۰۵۸              | ۲-۷-۸       | ۲۷/۵۷۴۰۸ | ۵۵/۹۶۲              | ۲/۰۲۹۵۱۵              | ۷-۴-۲       |
| ۲۱/۸۵۳۹۹ | ۵۲/۶                | ۲/۴۰۶۸۸۳              | ۱-۵-۸       | ۲۶/۵۰۵۱۵ | ۵۷/۰۸۶              | ۲/۱۵۳۷۷               | ۴-۳-۲       |
| ۲۱/۷۴۳۸۱ | ۵۵/۳۶۷              | ۲/۵۴۶۳۳۴              | ۱-۲-۵       | ۲۶/۴۸۸۴۵ | ۵۲/۹۷۶              | ۱/۹۹۹۹۶۶              | ۵-۴-۱       |
| ۲۱/۶۹۲۵۸ | ۵۱/۰۶۶              | ۲/۳۵۴۰۷۷              | ۱-۷-۸       | ۲۶/۴۸۴۱۴ | ۷۰/۵۹۶              | ۲/۶۶۵۵۹۶              | ۵-۳-۲       |
| ۲۱/۲۹۱۱۵ | ۵۶/۷۱               | ۲/۶۶۳۵۴۸              | ۲-۳-۸       | ۲۶/۴۶۰۵۴ | ۵۷/۴۹۶              | ۲/۱۷۲۸۹۶              | ۵-۴-۲       |
| ۲۰/۸۷۹   | ۵۳/۸۳۳              | ۲/۵۷۸۳۳۳              | ۱-۲-۷       | ۲۶/۴۲۶۸۹ | ۶۶/۰۷۶              | ۲/۵۰۰۳۳۲              | ۵-۳-۱       |
| ۲۰/۷۶۷۸۶ | ۵۲/۱۹               | ۲/۵۱۳۰۱۸              | ۱-۳-۸       | ۲۶/۳۳۰۴۵ | ۵۲/۵۶۶              | ۱/۹۹۶۳۹۶              | ۴-۳-۱       |
| ۱۹/۸۹۶۴  | ۴۱/۸۵۷              | ۲/۱۰۳۷۴۸              | ۱-۲-۴       | ۲۶/۳۰۹۸۵ | ۶۴/۹۵۲              | ۲/۴۶۸۷۳۳              | ۷-۵-۱       |
| ۱۹/۶۶۲۲۹ | ۵۴/۹۵۷              | ۲/۷۹۵۰۴۵              | ۱-۲-۳       | ۲۶/۳۰۰۷۳ | ۶۹/۴۷۲              | ۲/۶۴۱۴۴۷              | ۷-۵-۲       |
| ۱۸/۷۱۷۶۸ | ۴۳/۶۱               | ۲/۳۲۹۸۸۲              | ۲-۴-۸       | ۲۶/۰۳۶۰۶ | ۶۷/۸۲۹              | ۲/۶۰۵۱۹۴              | ۸-۵-۳       |
| ۱۷/۹۹۹۸۵ | ۳۹/۰۹               | ۲/۱۷۱۶۸۵              | ۱-۴-۸       | ۲۵/۹۳۱۸۵ | ۶۶/۲۹۵              | ۲/۵۵۶۵۰۹              | ۸-۷-۳       |
| ۱۵/۹۳۳۴۲ | ۴۱/۴۸۱              | ۲/۶۰۳۳۹۵              | ۱-۲-۸       | ۲۵/۵۶۲۲۸ | ۶۹/۰۶۲              | ۲/۷۰۱۷۱۵              | ۷-۳-۲       |
|          |                     |                       |             | ۲۵/۳۶۴۷۳ | ۶۴/۵۴۲              | ۲/۵۴۴۵۵۷              | ۷-۳-۱       |

GPS زده شده بود انتخاب گردید. پس از آن منحنی‌های بازتابی روی باندهای مناسب شامل ۳، ۴، ۷ و ۳، ۴، و ۳، ۴، و ۵ ETM+ و ۲، ۳ و ۴ MSS تصحیح گردید و روش طبقه‌بندی نظارت شده با روش حداکثر احتمال صورت گرفت.

در دیم‌زارهای منطقه چندین عامل باعث تغییر اعداد رقومی (DN) در اراضی مشابه می‌گردد که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: ارتفاع قطع محصول پس از برداشت، استفاده از زمین به‌عنوان چراگاه، آیش‌نگه‌داشتن زمین و رشد گیاهان مهاجم و یک‌ساله، زمان و عمق شخم و... مجموعه این عوامل وضعیت‌های بسیار متنوعی را ایجاد می‌کند که تشخیص این

GPS زده شده بود انتخاب و پس از تصحیح منحنی‌های بازتابی، طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال با استفاده از باندهای ۲، ۳ و ۴ MSS و باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ TM و ۳، ۴ و ۵ ETM+ صورت گرفت و بدین ترتیب کاربری اراضی کشاورزی آبی، بادقت بالا در سه دوره زمانی ۱۹۷۵، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ تهیه شد.

تهیه لایه‌های کاربری اراضی کشاورزی دیم، مرتع نیمه انبوه و مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده نمونه‌های تعلیمی این سه کاربری با استفاده از شاخص گیاهی NDVI و ترکیبات رنگی کاذب مختلف و استفاده از نقاطی که



می‌باشد و فقط تصویر سال ۲۰۰۲ نزدیک‌ترین تاریخ به زمان کنترل صحرائی است. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کافی از وضعیت گذشته منطقه، صحت نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۹۰ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی منطقه، اطلاعات مردم محلی و تفسیر چشمی مورد بررسی قرار گرفت.

### تهیه نقشه کاربری اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از روش طبقه‌بندی ترکیبی (هیبرید) استفاده گردید. این روش ترکیبی از دو روش طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده است و به همین دلیل از دقت بیشتری نیز برخوردار است (۱۱). در این روش لایه‌های اطلاعاتی مربوط به کاربری‌ها و پوشش‌های اراضی که به روش‌های مختلف از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمده‌اند با هم ترکیب می‌شوند (۱۷ و ۲۱). یکی از طرح‌های طبقه‌بندی ترکیبی، طرح طبقه‌بندی آندرسون است. این طرح بر اساس کلاس‌های غالب کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه و با توجه به تعاریف کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی، ایجاد می‌شود. این روش بیشتر در مواردی استفاده می‌شود که داده‌های مورد استفاده دارای قدرت تفکیک متفاوت مانند MSS و ETM+ باشند (۱۷). با استفاده از این روش کلیه لایه‌های اطلاعاتی (شش کاربری مختلف) به‌دست آمده از هر تصویر ماهواره‌ای با یکدیگر تلفیق شدند و در نهایت سه نقشه کاربری اراضی زیر حوزه قلعه شاهرخ مربوط به سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۶۹ و ۱۳۸۱ به‌دست آمد. در ادامه پس از تهیه نقشه کاربری اراضی هریک از تصاویر ماهواره‌ای مساحت هریک از کاربری‌ها محاسبه و در جداول مربوطه آورده شد.

### آشکارسازی تغییرات

جهت پایش تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۱ از دستور Change Detection استفاده گردید و روند تغییرات کاربری‌های کشاورزی آبی، کشاورزی

اراضی از اراضی مرتعی تنک را حتی در بازدیدهای صحرائی مشکل می‌سازد. وجود اشکالات فراوان در تطابق دیم‌زارها در طبیعت و تصویر ماهواره‌ای موجود (۲۰۰۲) باعث گردید تا بسیاری از نقاطی را که در بازدید صحرائی مرتع تعیین شده، در روش تفسیر نظارت شده به‌صورت دیم طبقه‌بندی شود و بالعکس، که علت آن پوشش ناچیز در مراتع تخریب شده و دیم‌زارهای برداشت شده یا آیش گذاشته شده است، لذا برای تفکیک این سه کاربری آنالیزهای مختلف بارزسازی دوباره صورت گرفت و محل نمونه‌ها برای طبقه‌بندی، پس از مراجعه مجدد به منطقه، با دقت بیشتر تعیین گردید و نهایتاً طبقه‌بندی و جداسازی این سه لایه کاربری اراضی انجام شد.

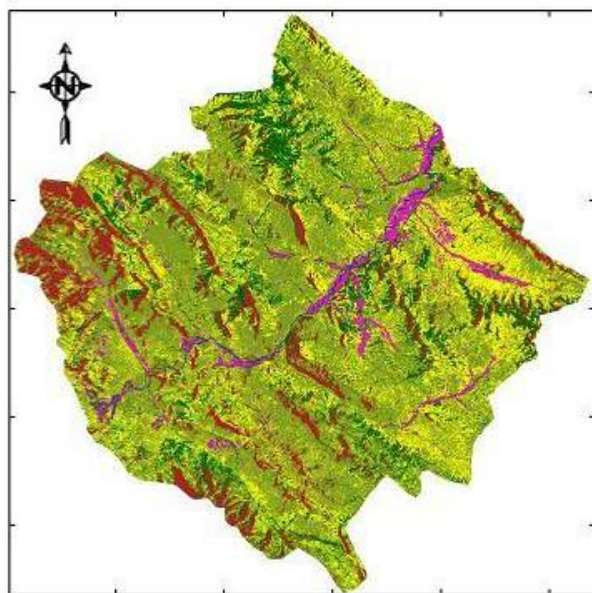
### د) تهیه لایه کاربری اراضی آب (رودخانه)

برای جدا کردن رودخانه از دیگر کاربری‌ها روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده به‌کار گرفته شد ولی به دلیل بازتاب‌های مشابه کناره‌های رودخانه با پوشش گیاهی اطراف در بعضی از قسمت‌های تصاویر، رودخانه به خوبی از دیگر لایه‌ها تفکیک نمی‌شد. بنابراین با ماسک کردن پوشش گیاهی حاشیه رودخانه، آب با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک در هر سه تصویر تفکیک گردید.

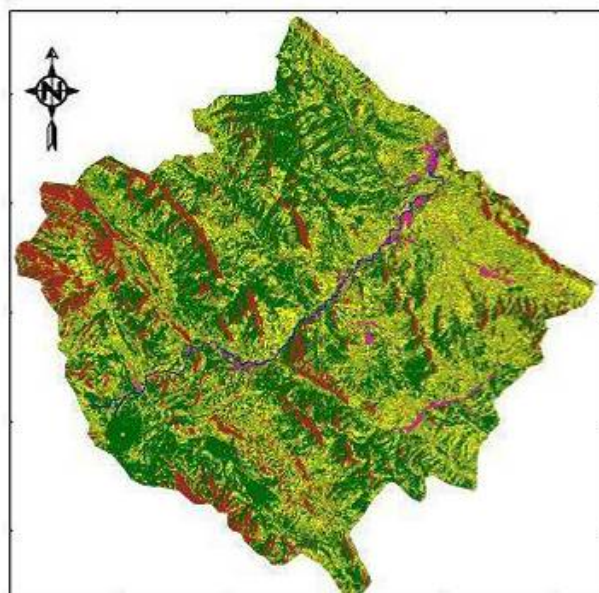
### ارزیابی صحت نقشه‌های ایجاد شده

در مرحله نهایی با استفاده از مختصات نقاطی که در بازدیدهای صحرائی با استفاده از GPS نمونه‌برداری شدند و دستورالعمل Ermat ماتریس خطا محاسبه و دقت کلی، شاخص کاپای کلی، خطای امیسیون (Omission) و خطای کمیسیون (Commission) محاسبه گردید.

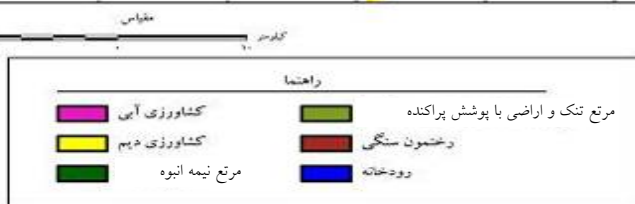
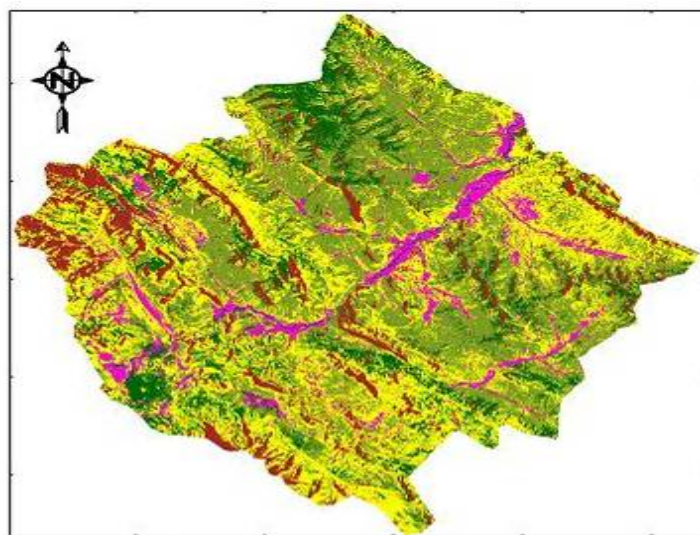
لازم به‌ذکر است که چون تصویر ماهواره‌ای MSS مربوط به سال ۱۹۷۵ و داده‌های ماهواره‌ای TM مربوط به سال ۱۹۹۰ می‌باشند بنابراین ماتریس خطا فقط برای نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ محاسبه گردید چرا که تاریخ بازدیدهای صحرائی مربوط به سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) و اوایل سال ۱۳۸۵



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حوزه قلعه شاهرخ در سال ۱۳۶۹



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی حوزه قلعه شاهرخ در سال ۱۳۵۴



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی حوزه قلعه شاهرخ در سال ۱۳۸۱

ندارند و خطای آمیسیون نشان‌دهنده میزان مساحت اراضی یک کلاس است که جزء کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند (۶). بیشترین و کمترین خطای آمیسیون به ترتیب برای کاربری‌های مراتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده و کشاورزی آبی می‌باشد. جدول ۸ ماتریس خطای نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۸۱ می‌باشد.

صحت نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۵۴ و ۱۳۶۹ نیز با مقایسه نقشه‌های توپوگرافی موجود از منطقه در این سال‌ها، تفسیر عکس‌های هوایی، اطلاعات مردم محلی و تفسیر چشمی تصاویر در حد قابل قبول به دست آمد.

### آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی

روند گسترش اراضی کشاورزی آبی و دیم‌زارها و کاهش مراتع در طول سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۱ با استفاده از دستور Change Detection تهیه گردید که در شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است.

با مقایسه جدول‌های ۵ تا ۷، میزان تغییر کاربری اراضی طی دوره‌های مورد بررسی مشخص می‌گردد. جدول ۹ تغییرات یاد شده را برحسب درصد نشان می‌دهد. در این جدول افزایش مساحت هر کاربری با عدد مثبت و کاهش مساحت با عدد منفی نمایش داده شده است.

### تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۱

شایان ذکر است به دلیل وسعت کم کاربری اراضی رودخانه نسبت به کاربری‌های کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مرتع نیمه انبوه و مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده و رخنمون سنگی، مساحت آن در دوره‌های مورد مطالعه تقریباً ثابت در نظر گرفته شده و تغییر این کاربری در سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۱ صفر در نظر گرفته شده است.

با توجه به جدول‌های ۵ تا ۷، در دوره اول مطالعه (سال ۱۳۵۴) بیشترین وسعت کاربری اراضی مربوط به مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده با ۴۱/۶ درصد و کمترین وسعت

دیم، مرتع نیمه انبوه، مرتع با پوشش ضعیف و اراضی با پوشش پراکنده طی سه دوره ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۹، ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۱ و ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۱ مشخص شد.

## نتایج

### تعیین بهترین ترکیب بانندی

برای انتخاب بهترین ترکیب بانندی از شاخص کمی OIF استفاده گردید. جدول‌های ۲ تا ۴ مقادیر OIF را برای ترکیبات سه بانندی حاصل از ۴ باند MSS، ۶ باند TM و ۷ باند ETM+ نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج بهترین ترکیب بانندی برای تصویر MSS، باندهای ۲، ۳ و ۴ و برای تصاویر TM و ETM+، باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ به دست آمد.

### نقشه کاربری اراضی

پس از تهیه کلیه لایه‌های اطلاعاتی شامل: ۱- کشاورزی آبی، ۲- کشاورزی دیم، ۳- مرتع نیمه انبوه، ۴- مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده، ۵- رخنمون سنگی و ۶- رودخانه، نقشه‌های کاربری اراضی حوزه آبخیز قلعه شاهرخ در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۶۹ و ۱۳۸۱ به دست آمد. شکل‌های ۲ تا ۴ نقشه‌های کاربری اراضی حوزه قلعه شاهرخ طی این سال‌ها می‌باشد. مساحت انواع کاربری اراضی در جدول‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

### ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

در بسیاری از مطالعات انجام شده در تهیه نقشه کاربری اراضی (متقی و همکاران (۹)، علوی پناه و همکاران (۶)، لانگفورد و همکاران (۱۹)، گوماراسکا (۱۵) و...) از روش حداکثر احتمال به علت دقت مناسب استفاده نمودند. دقت قابل قبول طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طبق نظریات آندرسون به نقل از هوارد، ۸۵ درصد می‌باشد (۱۶). در جدول خطا، خطای کمیسیون و آمیسیون مورد بررسی قرار گرفت. خطای کمیسیون نشان‌دهنده مساحت اراضی یک کلاس است که واقعاً به آن تعلق

جدول ۵. مساحت انواع کاربری اراضی در سال ۱۳۵۴

| درصد مساحت | مساحت (هکتار) | نوع کاربری اراضی                 |
|------------|---------------|----------------------------------|
| ۱/۶        | ۲۲۸۵/۹        | کشاورزی آبی                      |
| ۱۳         | ۱۹۵۹۱/۲       | کشاورزی دیم                      |
| ۳۲/۲       | ۴۸۶۵۴/۷       | مرتع نیمه انبوه                  |
| ۴۱/۶       | ۶۲۸۲۰/۷       | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده |
| ۱۱/۳       | ۱۷۰۹۴/۴       | رخنمون سنگی                      |
| ۰/۳        | ۵۳۳/۱         | رودخانه                          |
| ۱۰۰        | ۱۵۰۹۸۰/۱      | جمع کل                           |

جدول ۶. مساحت انواع کاربری اراضی در سال ۱۳۶۹

| درصد مساحت | مساحت (هکتار) | نوع کاربری اراضی                 |
|------------|---------------|----------------------------------|
| ۴/۲        | ۶۲۹۹/۴        | کشاورزی آبی                      |
| ۲۵/۶       | ۳۸۵۹۲/۹       | کشاورزی دیم                      |
| ۱۵/۳       | ۲۳۱۰۱/۶       | مرتع نیمه انبوه                  |
| ۴۳/۴       | ۶۵۵۴۸/۵       | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده |
| ۱۱/۳       | ۱۷۰۹۴/۴       | رخنمون سنگی                      |
| ۰/۲        | ۳۳۴/۴         | رودخانه                          |
| ۱۰۰        | ۱۵۰۹۸۰/۱      | جمع کل                           |

جدول ۷. مساحت انواع کاربری اراضی در سال ۱۳۸۱

| درصد مساحت | مساحت (هکتار) | نوع کاربری اراضی                 |
|------------|---------------|----------------------------------|
| ۷          | ۱۰۶۳۱/۱       | کشاورزی آبی                      |
| ۳۵/۷       | ۵۳۸۳۷/۴       | کشاورزی دیم                      |
| ۱۳/۵       | ۲۰۳۱۹/۱       | مرتع نیمه انبوه                  |
| ۳۲/۳       | ۴۸۷۹۱/۴       | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده |
| ۱۱/۳       | ۱۷۰۹۴/۴       | رخنمون سنگی                      |
| ۰/۲        | ۲۹۰/۱         | رودخانه                          |
| ۱۰۰        | ۱۵۰۹۸۰/۱      | جمع کل                           |

وسعت مربوط به کشاورزی آبی با ۴/۱ درصد می‌باشد. در دوره سوم مطالعه (۱۳۶۹-۱۳۸۱) بیشترین وسعت کاربری با ۳۵/۶ درصد مربوط به کشاورزی دیم و کمترین وسعت مربوط به

مربوط به کشاورزی آبی با ۱/۵ درصد بوده است. هم‌چنین در دوره دوم (۱۳۵۴-۱۳۶۹) بیشترین وسعت کاربری مربوط به مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده با ۴۳/۴ درصد و کمترین

جدول ۸. ماتریس خطای نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۱

| خطای   |     | علامت اختصاری کلاس‌های مرجع |                |                |        |        | کلاس‌های طبقه‌بندی شده           |
|--------|-----|-----------------------------|----------------|----------------|--------|--------|----------------------------------|
| خطای   | جمع | Ro                          | R <sub>2</sub> | R <sub>1</sub> | D      | I      | کاربری اراضی                     |
| کمسیون | ۵۷۵ | ۰                           | ۰              | ۰              | ۱      | ۵۷۴    | کشاورزی آبی                      |
| ۰/۰۰۱۷ | ۹۹۹ | ۰                           | ۱۷۲            | ۰              | ۸۲۲    | ۵      | کشاورزی دیم                      |
| ۱/۱۷۷۲ | ۹۰۲ | ۴                           | ۲              | ۷۳۳            | ۱۵۸    | ۵      | مرتع نیمه انبوه                  |
| ۰/۱۸۷۴ | ۶۱۵ | ۸                           | ۵۱۲            | ۶۵             | ۲۹     | ۱      | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده |
| ۰/۱۶۷۵ | ۵۳۲ | ۵۲۴                         | ۴              | ۳              | ۱      | ۰      | رخنمون سنگی                      |
| ۰/۰۱۵  |     | ۵۳۹                         | ۶۹۰            | ۸۰۱            | ۱۰۱۱   | ۵۸۵    | جمع                              |
|        |     | ۰/۰۲۲۴                      | ۰/۲۵۸          | ۰/۰۸۴۹         | ۰/۱۸۶۹ | ۰/۰۱۸۸ | خطای امیسیون                     |

(I: کشاورزی آبی، D: کشاورزی دیم، R<sub>1</sub>: مرتع نیمه انبوه، R<sub>2</sub>: مرتع تنک، Ro: رخنمون سنگی)

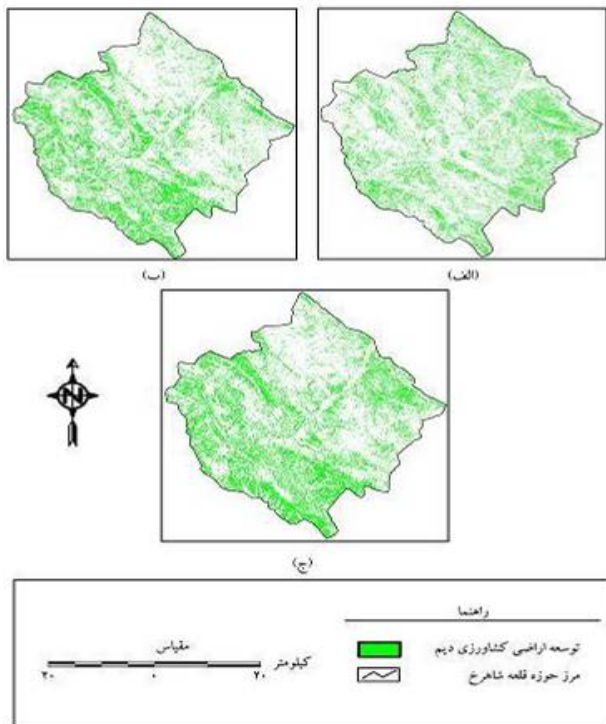
جمع پیکسل‌ها = ۳۶۲۳ دقت کلی = ۸۷/۳۵٪ کاپای کلی = ۸۳/۹۶٪

جدول ۹. تغییرات درصد مساحت هریک از کاربری‌های اراضی در دوره‌های مورد مطالعه

| تغییر مساحت (درصد) | کاربری اراضی                     | دوره   |
|--------------------|----------------------------------|--|
| +۲/۶۵۸             | کشاورزی آبی                      | تغییرات دوره دوم نسبت به دوره اول<br>(۱۳۵۴-۱۳۶۹) |
| +۱۲/۵۸۵            | کشاورزی دیم                      |  |
| -۱۶/۹۲۴            | مرتع نیمه انبوه                  |  |
| +۱/۸۰۷             | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده | تغییرات دوره سوم نسبت به دوره دوم<br>(۱۳۶۹-۱۳۸۱) |
| +۲/۸۶۹             | کشاورزی آبی                      |  |
| +۱۰/۰۹۷            | کشاورزی دیم                      |  |
| -۱/۸۴۳             | مرتع نیمه انبوه                  | تغییرات دوره سوم نسبت به دوره اول<br>(۱۳۵۴-۱۳۸۱) |
| -۱۱/۰۹۹            | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده |  |
| +۵/۵۲۷             | کشاورزی آبی                      |  |
| +۲۲/۶۸۲            | کشاورزی دیم                      | تغییرات دوره سوم نسبت به دوره اول<br>(۱۳۵۴-۱۳۸۱) |
| -۱۸/۷۶۷            | مرتع نیمه انبوه                  |  |
| -۹/۲۹۲             | مرتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده |  |

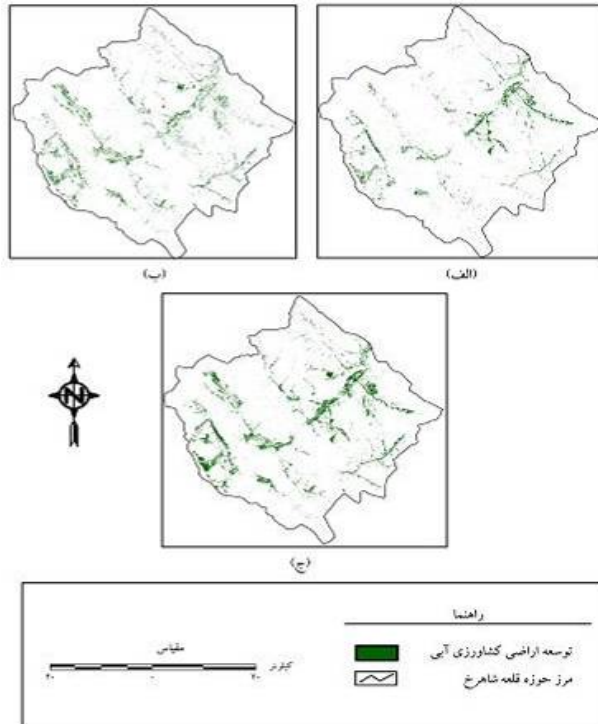
۱۳۶۹ (۱۵/۲۴ درصد افزایش) و سطح مراتع از ۱۱۱۴۷۵/۴ هکتار در سال ۱۳۵۴ به ۸۸۶۵۰/۱ هکتار در سال ۱۳۶۹ (۱۵/۱۱ درصد کاهش) تغییر یافته است. در طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۱ بیشترین تغییر کاربری در مراتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده است که به همراه بخشی از مراتع نیمه انبوه به دیم‌زارها و زراعت آبی تبدیل شده‌اند. یعنی سطح اراضی کشاورزی آبی و دیم از ۴۴۸۹۲/۳ هکتار،

کشاورزی آبی با ۷ درصد می‌باشد جدول ۹ و شکل‌های ۵ تا ۸، نشان می‌دهد طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۹ بیشترین تغییر کاربری مربوط به تبدیل مراتع با پوشش نیمه انبوه به دیم‌زارها و اراضی زراعی آبی و در درجه دوم تبدیل این مراتع به مراتع تخریب یافته با پوشش گیاهی پراکنده است، به طوری که سطح اراضی کشاورزی آبی و دیم از ۲۱۸۷۷/۱ هکتار، در سال ۱۳۵۴ به ۴۴۸۹۲/۳ هکتار، در سال



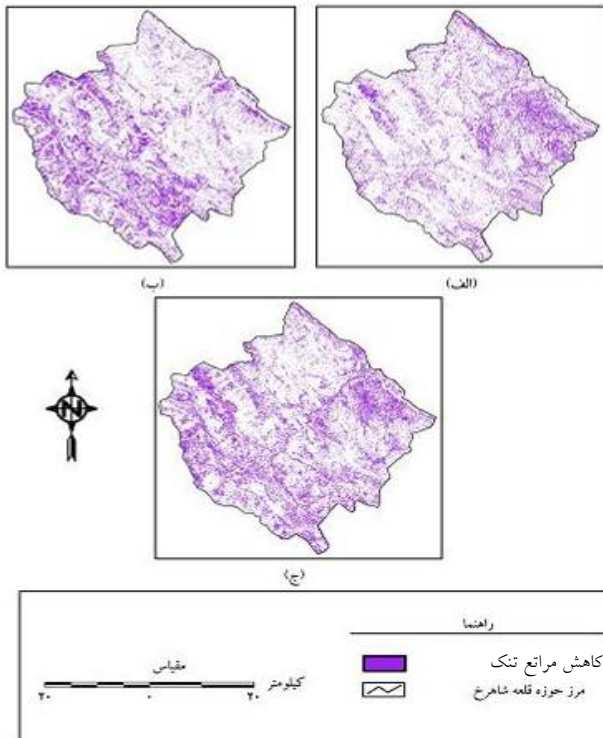
شکل ۶. روند توسعه دیمزارهای طی سالهای

۱۳۵۴(الف) تا ۱۳۶۹(ب)، ۱۳۸۱ تا ۱۳۵۴(ج) طی سالهای



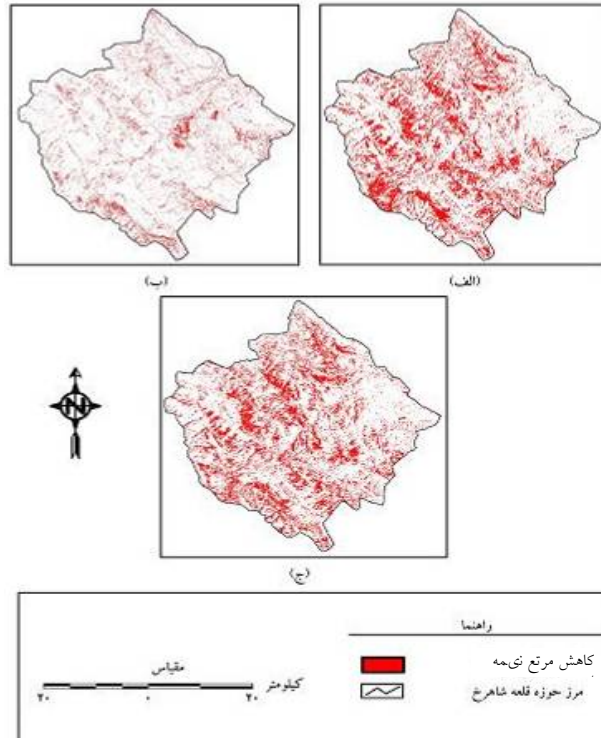
شکل ۵. روند توسعه اراضی کشاورزی آبی طی سالهای

۱۳۵۴(الف) تا ۱۳۶۹(ب)، ۱۳۸۱ تا ۱۳۵۴(ج) طی سالهای



شکل ۸. روند کاهش مراتع تنک و اراضی با پوشش پراکنده طی سالهای

۱۳۵۴(الف) تا ۱۳۶۹(ب)، ۱۳۸۱ تا ۱۳۵۴(ج) طی سالهای



شکل ۷. روند کاهش مراتع نیمه انبوه طی سالهای

۱۳۵۴(الف) تا ۱۳۶۹(ب)، ۱۳۸۱ تا ۱۳۵۴(ج) طی سالهای

طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده تصویر وجود ندارد. آنها این مناطق را با استفاده از روش طبقه‌بندی هیبرید تفکیک کردند (۲۱). کامیوسوکو در مطالعه خود با استفاده از داده‌های TM، MSS و ETM+ از روش هیبرید استفاده کرد و علت آن را عدم توانایی روش‌های نظارت شده و نظارت نشده به تنهایی برای تفکیک برخی کاربری‌ها بیان نمود (۱۷).

### ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی

برای تعیین صحت نقشه‌های تولیدی از تصاویر TM و MSS، به‌علت نبود نقشه‌های به‌نگام، از عکس‌های هوایی استفاده گردید. هم‌چنین نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیز تا حدودی به کنترل دقت نقشه‌ها کمک نمود لذا دقت این نقشه‌ها، پایین‌تر از نقشه حاصل از تصویر ETM+ است. یانگ، نیز در مطالعه خود گزارش داد که با توجه به در اختیار نداشتن اطلاعات کامل از وضعیت گذشته منطقه، تنها به یک ارزیابی کلی از دقت نقشه اکتفا کرده است (۲۶).

اما به‌دلیل مشخص بودن بازتاب‌های منطقه در داده‌های MSS، کاربری‌های اراضی جدا شده دقت قابل قبولی دارد و فقط تفکیک بازتاب‌های مراتع نیمه انبوه و تنک به‌صورت دقیق امکان‌پذیر نشد و ممکن است در محل‌هایی که پوشش گیاهی روی خاک‌های نسبتاً روشن مستقر است ضعیف تفکیک شده باشد.

### تغییرات کاربری اراضی

طی سال‌های ۱۳۵۴ تا سال ۱۳۸۱ تبدیل اراضی مرتعی به دیم‌زارها و زراعت آبی به وفور دیده می‌شود که این تغییر کاربری به‌علت فعالیت‌های کشاورزی شدید، شخم و شیار و عملیات زراعی است که در منطقه مطالعاتی به‌صورت گسترده و غیراصولی صورت گرفته است (۲ و ۲۴).

### پیشنهادها

براساس نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، پیشنهادها زیر

در سال ۱۳۶۹ به ۶۴۴۶۸/۵ هکتار، در سال ۱۳۸۱ (۱۲/۹۶ درصد افزایش) و سطح مراتع از ۸۸۶۵۰/۱ هکتار در سال ۱۳۶۹ به ۶۹۱۱۰/۵ هکتار در سال ۱۳۸۱ (۱۲/۹۴ درصد کاهش) تغییر یافته است.

### بحث

#### تفسیر تصاویر ماهواره‌ای (TM، MSS و ETM+)

از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به روش طبقه‌بندی نظارت شده در تفکیک اراضی زراعی آبی و رخنمون سنگی نتایج مناسبی حاصل گردید و این دو کاربری اراضی در تصاویر به‌راحتی تفکیک شدند. ولی در کنترل صحرایی مشخص شد که دیم‌زارها در تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۲ به‌طور کامل تفکیک نشده‌اند و بسیاری از نقاطی که در بازدید صحرایی مرتع تعیین شده، در روش تفسیر نظارت شده به‌صورت دیم طبقه‌بندی شده‌اند و بالعکس. علت این موضوع پوشش گیاهی ناچیز در مراتع تخریب شده و دیم‌زارهای برداشت شده یا آیش گذاشته شده می‌باشد که در هر دو بازتابش تاج پوشش گیاهی ضعیف بوده و بیشترین بازتاب از خاک لخت است. لذا برای تفکیک کاربری‌های مرتع و کشاورزی دیم، آنالیزهای بارزسازی مجدداً انجام گرفت و با بازدید دوباره از منطقه و دقت بیشتر در تعیین محل نمونه‌ها روی تصویر، طبقه‌بندی با دقت قابل قبول به روش هیبرید انجام شد. در سال ۱۳۵۴ به‌علت پوشش گیاهی خوب مراتع، بازتاب‌ها بین مراتع نیمه انبوه و دیم‌زارها شباهت داشت و به هم نزدیک بود اما به‌علت بازتاب مناسب پوشش گیاهی ضعیف در بخش باند ۳ در مناطق خشک (۱۸)، تفکیک دیم‌زارها از این مراتع بهتر انجام گرفت. خلیقی در تفکیک مراتع از اراضی زراعی دیم با روش طبقه‌بندی نظارت شده در حوزه باراندوزچای آذربایجان غربی نتایج قابل قبولی نگرفت و با روش تفسیر چشمی این دو کاربری را طبقه‌بندی نمود (۲). لونا و همکاران در مطالعه خود برای تهیه نقشه کاربری اراضی بیان کردند که امکان تفکیک مناطق مسکونی از مناطق کشاورزی و پوشش‌های طبیعی با استفاده از روش‌های

جهت لحاظ نمودن در تحقیقات آینده، ارائه می‌گردد.

۱- چون در تفکیک اراضی کشاورزی دیم از مراتع به وسیله روش طبقه‌بندی نظارت شده، اراضی مختلف در حد سلول متمایز می‌شوند بنابراین توصیه می‌شود اولاً این روش برای مناطق کوچک‌تر که تنوع اراضی و شباهت‌ها کمتر است، استفاده گردد ثانیاً از روش‌های هوشمندسازی سیستم GIS که سایر اطلاعات مفسر (مانند شکل زمین‌های زراعی و...) را نیز برای تفکیک به کار می‌برد، استفاده شود.

۲- برای جداسازی کاربری کشاورزی دیم، استفاده از داده دو زمانه موردنیاز است، به طوری که یک سری از داده‌ها مربوط به فصل کاشت و دیگری در فصل برداشت باشد.

۳- به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مختلف در یک منطقه، پیشنهاد می‌گردد تصاویری که در فصول مناسب و تاریخ یکسان برداشت شده‌اند، مورد استفاده قرار گیرد.

### منابع مورد استفاده

۱. اکبری، م. ۱۳۸۲. ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان زایی با تکنیک RS و GIS در منطقه خشک شمال اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. خلیقی سیگارودی، ش. ۱۳۸۳. بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری اراضی بر مشخصات هیدرولوژیک آبهای سطحی (مطالعه موردی در حوزه باراندوز چای استان آذربایجان غربی). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۳. زاهدی فرد، ن. ۱۳۸۱. کاربرد داده‌های رقومی TM در تهیه نقشه کاربری اراضی در حوزه آبخیز بازفت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. شبان، م. ۱۳۸۵. بررسی استفاده از داده‌های رقومی ETM+ در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی جهت بهبود مدیریت مراتع در پناهگاه حیات وحش موته. نخستین کنفرانس مدیریت مراتع شهرکرد.
۵. علوی پناه، س. ک. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران.
۶. علوی پناه، س. ک. و م. مسعودی. ۱۳۷۵. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره‌ای لندست TM و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعه موردی منطقه موک استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۱): ۶۵ - ۷۶.
۷. علوی پناه، س. ک. و همکاران. ۱۳۸۳. بررسی بیابانزایی و تغییرات اراضی پلاپای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چند طیفی. مجله بیابان (۹): ۱۴۳ - ۱۵۴.
۸. غیاثوند، غ. ۱۳۷۷. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (مطالعه موردی جنوب تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۹. متقی، م. ۱۳۷۹. کاربرد تصاویر رقومی سنجنده تی.ام. در پوشش گیاهی مرتعی در جهان نما. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۱۰. مهندسین مشاور یکم، ۱۳۷۶. مطالعات جامع احیا و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های زاینده رود و اردستان. جمع بندی مطالعات، مؤسسه پژوهش‌های برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی.
۱۱. نصیری، ع. و. ۱۳۷۷. روش‌های طبقه‌بندی طیفی و فضایی در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی. وزارت کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و بودجه اداره کل آمار و اطلاعات، شماره ۷۷/۲۶، تهران
12. Carlson, T.N. and G.A. Sanchez-Azofeifa. 1999. Satellite remote sensing of land use change in around Senjose, Costa Rica. Remote Sens. of Environ. 17: 247-256.



13. Carlson, T.N. 2000. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change* 25: 49-65.
14. Fohrer, N., S. Haverkamp, K. Eckhardt and G. Frede. 2001. Hydrologic response to land use changes on the catchments scale. *Phys. and Chem. of the Earth Part B*, 26(7,8): 577-582.
15. Gomarasca, M.A. 1993. One century of land use changes in the metropolitan area of Milan (Italy). *Int. J.R.S.* 14(2): 211-223.
16. Howard, J.A. 1991. *Remote Sensing of Forest Resource: Theory and Application*. Chapman & Hall, London.
17. Kamusoko, C. and M. Aniya. 2006. Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura district Zimbabwe. *Land Degrad. and Develop.* 50: 122-133
18. Khajeddin, S. J. A. 1995. *Survey of the Plant Communities of Jazmorian Iran Using landsat MSS data*. PhD. Thesis, Univ. of Reading, Buston, USA.
19. Langford, M. 1997. Land cover mapping in a topical hillside in environment a case study in the Cauca region of Colombia. *Int. J.R.S.* 18 (6): 1289- 1306.
20. Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons Pub., New York.
21. Luna, A. R. and A. R. Cesar. 2003. Land use, Land cover change and costal lagoon surface reduction associated with urban growth in North West Mexico. *Landscape Ecol.* 18: 159-171.
22. Pandya, M.R. et al. 2000. Effect of WiFS viewing geometry on crop reflectance: asimulation study using SAIL model. *Int. J. Remote Sens.* 21(9):1931-1938.
23. Schmidt, H. and A. Karnicle. 2000. Remote sensing in the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *J. Arid Environ.* 45: 43-59.
24. Symeonakis, E. et al. 1999. A land use change and degradation study in Spain and Greece using remote sensing and GIS. <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/110.pdf> .
25. United States Geological Survey Format Specification for Geometrically Corrected Landsat Level 1 Digital Data Products. 2002. National Land archive Production System. (NLAPS)Systemic Format description document, <http://Landsat.usgs.gor/document/NLAPSII>.
26. Yuan, F., K.E. Sawya, B.C. Loeffelhoze and M.E. Bauer. 2005. Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) metropolitan area by multi temporal land sat remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 98: 317-328.