

تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی (مطالعه موردی سه زیر حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن-قهاوند و خونجین-تلخاب در استان همدان)

علیرضا سفیانیان^{۱*}، لقمان خداکرمی^۲

۱. استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۵؛ تاریخ تصویب: ۹۰/۱/۲۰)

چکیده

اطلاعات پوشش اراضی، برای بسیاری از فعالیت‌های برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین از جمله آمایش سرزمین دارای اهمیت است. امروزه تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، به دلیل فراهم آوردن داده‌های به هنگام و قابلیت بالای آنالیز، کاربرد گسترده‌ای در تمامی بخش‌ها از جمله کشاورزی، منابع طبیعی و تهیه نقشه کاربری اراضی به عنوان نقشه‌های پایه در آمایش سرزمین دارند. در پژوهش حاضر، به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی بخش شمالی استان همدان از سری زمانی داده‌های رقومی ماهواره IRS-P6 (سنجنده Awifs) استفاده شد. ابتدا تصاویر با میانگین خطای مربعات کم تر از ۰/۴۸ پیکسل تصحیح هندسی شدند. برای طبقه‌بندی تصاویر، از روش طبقه‌بندی فازی استفاده شد. در نهایت، نقشه پوشش اراضی منطقه در ۱۲ کلاس، طبقه‌بندی گردید. برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، نقشه تولیدی با نقشه واقعیت زمینی بررسی شد. ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی به روش طبقه‌بندی عصبی به ترتیب ۸۶ و ۸۸ درصد برآورد گردید. مطالعه حاضر نشان داد که روش طبقه‌بندی شبکه عصبی، قابلیت تهیه نقشه پوشش اراضی و الگوی کشت با صحت بالا را دارا می‌باشد.

واژگان کلیدی

پوشش اراضی، روش طبقه‌بندی فازی، سنجش از دور، همدان.

مقدمه

اصولاً ماهیت زمین ثابت نبوده و در حال تغییر و تحول است و شناسایی بهینه یک سرزمین و بهره‌برداری از مواهب طبیعی آن از دیرباز دارای اهمیت می‌باشد. انتخاب نوع استفاده از زمین همواره قسمتی از سیر تکاملی جوامع انسانی را تشکیل داده است. استفاده از اراضی بایستی بر پایه شناخت کامل محیط طبیعی و همچنین انواع استفاده‌های مورد نظر استوار باشد. به عبارتی ارتباط متقابل و تعامل بین انواع اراضی و استفاده‌های ممکنه از آن همواره باید مد نظر قرار گرفته و در برنامه ریزی سرزمین مورد توجه باشد. یکی از مهم‌ترین وظایف ارزیابی اراضی، درک و تشخیص ارتباط بین محیط طبیعی و انواع استفاده‌های ممکنه در راستای تأمین اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزان اراضی می‌باشد. پوشش اراضی به ترکیب و ویژگی‌های اجزا و عوارض روی سطح زمین اشاره دارد. نحوه استفاده از زمین، به عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نقشه کاربری و پوشش اراضی که در آن نوع و الگوی مکانی و طریق استفاده از سرزمین مشخص شده است، یکی از ابزارهای مهم برای برنامه‌ریزی‌های آتی کاربری اراضی است. نقشه‌های کاربری اراضی که نمایانگر شرایط فعلی و توزیع جغرافیایی نحوه استفاده انسان از زمین در فعالیت‌هایی مانند کشاورزی، جنگلداری، شهرسازی و نقش مهمی ایفا می‌کنند.

امروزه کسب آگاهی و دانش در رابطه با پوشش گیاهی و سلامت آن نقش مهمی را در مدیریت خاک‌ها ایفا می‌کند. به منظور بررسی و پایش پوشش گیاهی در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای دسترسی به هنگام به داده‌های میدانی یا صحرایی معمولاً دشوار و محدود می‌باشد. همچنین برآورد پوشش گیاهی به روش معمولی که شامل برآورد کلی از پوشش گیاهی است هم زمان بر است و هم اطلاعات چندان دقیقی را به دست نمی‌دهد. از این رو سنجش از دور فن آوری بسیار مفیدی است که با داشتن خصوصیات نظیر فراهم ساختن یک دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرارپذیری، سهل‌الوصول بودن اطلاعات و دقت بالای اطلاعات حاصله، صرفه جویی در زمان بر سایر روش‌ها ارجحیت داده می‌شود. ترکیب نتایج حاصل از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های میدانی با داده‌های سنجش از دور می‌تواند نقشه‌های به هنگام خصوصیات محصولات را آرایه نماید که این امر در تعریف واحدهای مدیریت دقیق ارزشمند است. بنابراین می‌توان از کاربردهای متعدد

سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب در مشاهده، ارزیابی، کنترل، نظارت و مدیریت منابع خاک، آب، پوشش گیاهی، محیط زیست و اکوسیستم و بلایای طبیعی، استفاده نمود. آمایش زمین امروزه مورد توجه غالب برنامه ریزان منابع آب و خاک قرار گرفته است و گام اصلی فن آوری سنجش از دور نظارت محیطی و مطالعات آشکارسازی تغییرات آینده، تولید نقشه های پوشش و کاربری و توسعه جی آی اس و پایگاه داده ها در مقیاس های مختلف می باشد. استفاده از علم سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای، ما را در دستیابی به آمایش سرزمین، یعنی استفاده بهینه از منابع، امکانات و چگونگی استقرار انسان ها در زمینه فعالیت در فضای جغرافیای ملی و منطقه ای سامان می دهد. در رابطه با چگونگی اسکان کشاورزان، افزایش محصولات کشاورزی، برنامه ریزی در صادرات محصولات و در نهایت رسیدن به خودکفایی کشاورزی به سادگی می توان از علم سنجش از دور استفاده بهینه نمود.

در سال های اخیر، استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات کشاورزی و تهیه نقشه های موضوعی گسترش فراوانی پیدا کرده است. تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی از نیازهای اساسی برای مدیریت و نظارت زیست محیطی است. این نقشه ها در برنامه ریزی ها و تصمیم گیری ها در بخش های مختلف استفاده می شوند. مطالعه مکان های زیر کشت با استفاده از داده های ماهواره ای موجود و تهیه نقشه اراضی زیر کشت در هر سال می تواند دولت را در مدیریت بهینه این اراضی و برنامه ریزی برای توزیع محصولات کمک کند (خلفی و داورپناه، ۱۳۸۷).

مطالعاتی در زمینه استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره ای برای تهیه نقشه کاربری اراضی انجام شده است. از جمله آنها در تحقیقی واردلاو و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی روند زمانی شاخص های گیاهی برای طبقه بندی مزارع بزرگ کشاورزی شامل یونجه، ذرت، سویا و گندم با استفاده از تصویر MODIS با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر پرداخته و با توجه به روندهای زمانی متفاوت شاخص های EVI و NDVI کلاس های مختلف را از هم تفکیک نمودند و نتایج آنها نشان داد که تفکیک پذیری غلات در دوره بلوغ محصولات نسبت به دوره رشد آنها چشمگیرتر می باشد.

ساواساوا (۲۰۰۳) با تلفیق سنجش از دور و GIS و پارامترهای مدیریت، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از جمله برنج را برآورد کرد. در این مطالعه با استفاده از

تصاویر ماهواره ^۱ IRS با تفکیک مکانی ۲۳ متر و تصویر پانکروماتیک (PAN) ماهواره مذکور با تفکیک مکانی ۶ متر و همچنین تصاویر سری زمانی ماهواره اسپات اقدام به آنالیز و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای گردید. با استفاده از برداشت‌های زمینی و نقشه‌های مختلف از منطقه و دخیل کردن پارامترهای مدیریتی، و با توجه به مراحل فنولوژیکی محصولات و استفاده از شاخص‌های گیاهی مانند NDVI سطح زیر کشت برنج زارها را در منطقه‌ای در نظام آباد ایالت آندراپراش هند برآورد شد.

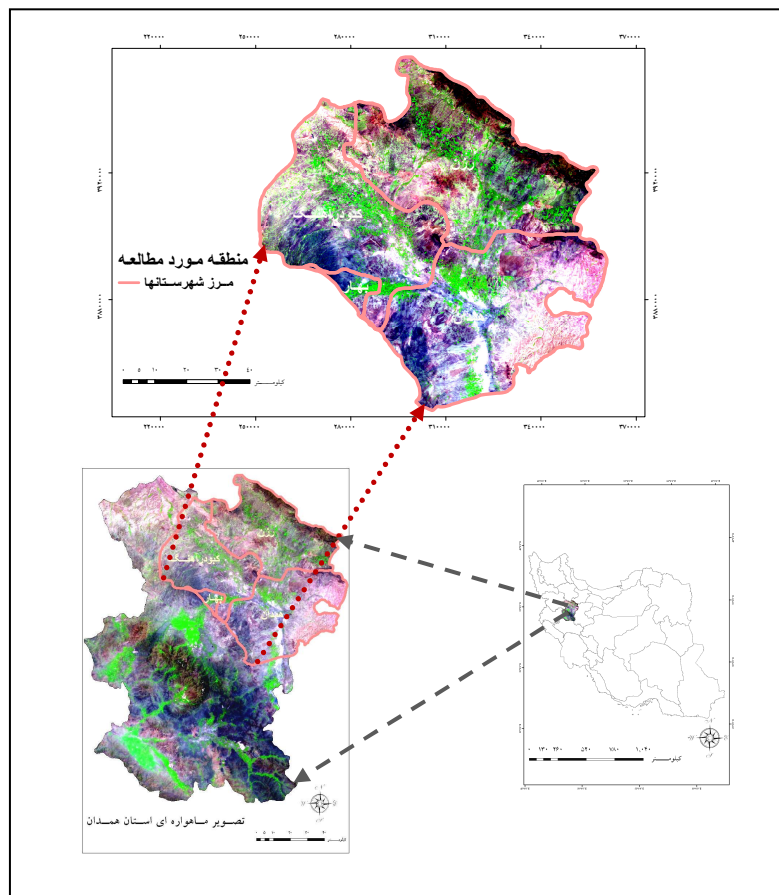
سلیمی و همکاران (۲۰۰۹)، در تحقیقی سطح زیر کشت برنج در شهرستان مرودشت را با استفاده از دو سری زمانی تصاویر LISS III از ماهواره IRS-P6 با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال و شاخص‌های NDVI و SAVI تعیین کردند. خواجه‌الدین و همکاران (۲۰۰۷)، برای تعیین سطح زیر کشت شالیزارهای منطقه اصفهان از داده‌های رقومی ماهواره IRS-ID هند (سنجنده‌های PAN, LIS III و سری زمانی Wifs) استفاده کردند. آنها با استفاده از روش‌های حداکثر احتمال و حداقل فاصله از میانگین و همچنین شاخص آب مساحت زیر کشت شالیزارها را تعیین کردند.

در تحقیق حاضر با انگیزه یافتن روشی سریع با دقتی قابل قبول برای شناسایی و طبقه بندی سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، آنالیز روش طبقه بندی فازی بر روی دو سری زمانی از تصاویر سنجنده AWIFS از ماهواره IRS-P6 اعمال شده است. از آنجا که آگاهی از وضعیت کاربری اراضی و سطح زیر کشت محصولات در تعریف واحدهای مدیریت دقیق ارزشمند است، روش ارائه شده در این تحقیق می‌تواند در آمایش سرزمین، تعیین میزان تولید خالص و نیز میزان کمبود و یا مازاد محصولات کشاورزی، به منظور ثبات بازار بسیار موثر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۷۲۶۲ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۳۵۱۰۷۴/۶۸ تا ۳۶۰۷۷۸/۶۸ و عرض‌های جغرافیایی ۳۸۴۵۰۴۸ تا ۳۹۵۶۶۵۶ در استان همدان واقع شده و شامل سه زیرحوزه کبودرآهنگ، رزن، خونجین و تلخاب می‌باشد. بیش‌ترین وسعت منطقه مورد مطالعه در دو زیرحوزه کبودرآهنگ و رزن قرار گرفته و شامل شهرستان‌های رزن، کبودرآهنگ و بخشی از شهرستان‌های بهار و همدان است (شکل

۱). کاربری عمده این منطقه (۳۳/۴ درصد از وسعت منطقه) کشاورزی می‌باشد به گونه‌ای که بخش عمده زمین‌های کشاورزی استان همدان در این منطقه واقع شده است. محصولات غالب منطقه شامل گندم، جو یونجه و سیب زمینی می‌باشند. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا به ترتیب ۱۶۷۹ متر و ۲۹۳۳ متر است. در این تحقیق داده‌های سنجنده AWIFS از ماهواره IRS-P6 مورد استفاده قرار گرفته که دارای چهار باند سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۵۶ متر است. در جدول ۲، تاریخ داده‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه آمده است. از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقاط کنترل زمینی برداشت شده با GPS، برای شناسای بهتر منطقه و زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

انتخاب زمان تصاویر ماهواره‌ای

به دلیل تشابه طیفی بین محصولات عمده منطقه نمی‌توان از یک تصویر برای تفکیک و استخراج الگوی کشت منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. سلیمی و همکاران (۱۳۸۷) و نیز خواجه الدین و همکاران (۱۳۸۶) در تفکیک شالیزارها از کشت‌های دیگر به دلیل بازتاب مشابه کشت‌های مختلف در یک تصویر با این مشکل روبرو بودند. کارن^۱ و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی که در منطقه شمال ویسکانسین انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تشابه طیفی بین گونه‌های خزان کننده صحت تفکیک پذیری را کاهش می‌دهد. در صورتی که تفاوت محسوس فنولوژیک بین گونه‌ها وجود داشته باشد، تفکیک گونه‌ها مطلوب‌تر خواهد بود. بنابراین در این تحقیق برای استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای و تعیین دامنه زمانی مناسب به منظور سفارش تصاویر، ابتدا با مراجعه به منطقه و با کمک کشاورزان و مالکان اراضی به جمع‌آوری تقویم زراعی محصولات مختلف منطقه اقدام شد. سپس بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده و مشخص شدن زمان کاشت، اوج سبزی‌نگی، برداشت و شخم محصولات مختلف، این اطلاعات در پایگاه داده ذخیره گردید. سپس تجزیه و تحلیل‌های لازم برای انتخاب محدوده زمانی مناسب سفارش تصاویر بر اساس محصولات عمده منطقه مورد مطالعه (گندم و جو، یونجه و سیب زمینی) انجام گرفت. با توجه به هدف این مطالعه، یعنی تهیه نقشه کاربری اراضی و تعیین الگوی کشت منطقه مورد نظر، و نیز با توجه به تقویم زراعی منطقه و مراحل فنولوژی رشد محصولات عمده، به طور برنامه‌ریزی شده از اسفند ۱۳۸۶ تا شهریور ۱۳۸۷ برای هر ماه یک تصویر سفارش داده شد. در نهایت در تاریخ‌های ۱۸ اسفند، ۱۵ فروردین، ۸ اردیبهشت، ۲۰ خرداد، ۲۶ تیر و ۲۸ مرداد تصاویر برداشت شد، اما در شهریور ماه تصویری برداشت نشد (جدول شماره ۱).

سنجده	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	سال
Awifs	۶ مارس	۱۸ اسفند	۲۰۰۸
Awifs	۳ آوریل	۱۵ فروردین	۲۰۰۸
Awifs	۲۷ آوریل	۸ اردیبهشت	۲۰۰۸
Awifs	۱۸ ژوئیه	۲۶ تیر	۲۰۰۸
Awifs	۱۶ اگوست	۲۸ مرداد	۲۰۰۸

جدول ۱: تصاویر مورد استفاده در مطالعه

آماده سازی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصحیح رادیومتریک

تصحیحات رادیومتریک برای کاهش و یا حذف دو نوع خطای عمده، خطای اتمسفری و خطای دستگاهی به کار می‌روند. در تصاویر تهیه شده برای این مطالعه به علت جوان بودن ماهواره IRS-P6 خطای دستگاهی مشاهده نشد. برای تصحیح اتمسفریک از تکنیک کاهش پیکسل‌های تاریک استفاده شد. با این فرضیه که پیکسل تاریک با حداکثر احتمال، کم‌ترین میزان انعکاس طیفی را دارد و متعلق به آب عمیق و سایه میان تصویر است که انعکاس آن صفر می‌باشد. زیرا در صورت وجود ذرات پراکنده در جو، پراکنش جوی باعث می‌شود که عملاً انعکاس طیفی پیکسل‌های تاریک صفر نباشد (سرنام و همکاران، ۲۰۰۲، صص ۲۱۳-۲۲۸). در این مطالعه از مناطقی واقع در دریاچه سد شیرین سو که آب عمیق و زلال دارد، برای تصحیح تصاویر براساس رگرسیون باند مادون قرمز با سایر باندهای سنجنده در تاریخ‌های مختلف استفاده شد. به منظور افزایش وضوح تصاویر و نمایان‌تر شدن پدیده‌ها و عوارض موجود از روش کشش خطی^۱ استفاده شد.

تصحیح هندسی

برای ثبت تصاویر ماهواره‌ای و انطباق آنها با یکدیگر از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (با استفاده از خطوط مربوط به شبکه آبراهه‌ها و لایه راهها) به عنوان نقشه مبنا استفاده شد. ابتدا تصویر ۲۷ آوریل با انتخاب ۳۰ نقطه مشترک با پراکنش مناسب در سیستم تصویر UTM به روش نزدیک‌ترین همسایه با $RMSE^2$ برابر $0/48$ مطابقت داده شد. در مرحله بعد تصاویر ۳ آوریل، ۹ ژوئن، ۱۸ ژولای و ۱۶ آگوست با استفاده از تصویر ۲۷ آوریل و با انتخاب ۳۵ نقطه کنترلی و با روش نزدیک‌ترین همسایه هم مختصات شدند. $RMSE$ آنها به ترتیب $0/43$ ، $0/45$ ، $0/38$ و $0/4$ پیکسل به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، میزان خطای تصاویر ثبت شده، کم‌تر از $0/5$ پیکسل می‌باشد. این میزان خطا مقدار قابل قبولی می‌باشد، اما با توجه به اینکه کم بودن خطای میانگین مربعات به تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای یافتن دقت هندسی باشد، تصاویر

1 . Linear stretch

2 . Root Mean Square Error

زمین مرجع شده با نقشه‌های توپوگرافی مقایسه شدند. برای انجام این کار از مطابقت عوارض مشخصی مانند رودخانه‌ها و جاده‌ها استفاده شد. خطای کم ثبت و انطباق مکانی عارضه‌های توپوگرافی با تصاویر، نشان دهنده دقت بالای تطابق هندسی انجام شده بود.

نظریه مجموعه فازی

نظریه مجموعه‌های فازی اولین بار توسط پروفیسور عسکرزاده عرضه شد، این نظریه از زمان ارایه آن تاکنون گسترش و بسط زیادی یافته و کاربردهای گوناگونی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است. به طور خلاصه، نظریه مجموعه‌های فازی فرضیه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند (چنانچه در عالم واقع اکثراً چنین است) صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (رنجبر، ۲۰۰۴، ص ۴۷۳۳).

در رده بندی نظارت شده مرسوم در سنجش از دور، نقاط تعلیمی و نتایج رده‌بندی بر مبنای روش یک پیکسل یک رده^۱ هستند، در حقیقت یک پیکسل فقط به یک رده می‌تواند تعلق داشته باشد، رده مخلوط نمی‌تواند به عنوان نقاط تعلیمی یا یک طبقه فرض شود و میزان عضویت^۲ در پیکسل‌ها مشخص نیست. در حقیقت در روش‌های کلاسیک رده‌بندی مرزهای مناطق آموزشی به صورت ناگهانی تغییر می‌کند و به صورت تدریجی نیست. این محدودیت‌های آشکار باعث کاهش ارزش رده‌بندی سطوح و استخراج اطلاعات ضعیفی می‌شود و ممکن است اطلاعات با ارزشی از بین برود این مشکل، بیشتر به خاطر مفهوم عضویت در نظریه مجموعه‌های کلاسیک است که بر اساس آن یک مجموعه مرزهایی دارد و هر عضو می‌تواند به طور کامل عضو این مجموعه باشد یا نباشد. نظریه مجموعه‌های فازی که به منظور از بین بردن ابهام در داده‌ها به کار می‌رود، یک مفهوم جدیدی است که بر اساس آن عضویت جزئی^۳ اجازه می‌دهد که اطلاعات در موقعیت‌های پیچیده تر مثلاً پوشش‌های مخلوط یا شرایط حد واسط بهتر نمایش داده شده و به کار روند، اگرچه تحلیل تصاویر سنجش از دور با استفاده از مجموعه‌های فازی دشوار و مشکل است، اما با توجه

-
- 1 . One-pixel-one-class
 - 2 . Membership
 - 3 . Partial membership

به اینکه در داده‌های سنجش از دور، اغلب تعیین مرز بین دو رده مختلف آسان نیست، می‌توان از نظریه، مجموعه‌های فازی به صورت کیفی به خوبی استفاده کرد. در این نظریه، رتبه عضویت می‌تواند مقداری بین ۰ و ۱ در نظر گرفته شود، در صورتی که در حالت عادی عضویت نظریه مجموعه‌ها، رتبه عضویت فقط ۰ یا ۱ اختیار می‌شود، برای انجام این رده‌بندی انتخاب مناطق آموزشی لازم است. برخلاف روش‌های معمول رده‌بندی که هر کدام از مناطق آموزشی حاوی موادی هستند که در نوع خود خالص است و هیچ گونه تغییرات تدریجی در آنها وجود ندارد در این روش ضروری نیست که نقاط تعلیمی کاملاً یکنواخت باشند (ونگ، ۱۹۹۰، راهنمای نرم افزار ERDAS، ۲۰۰۷، صص ۱۳۸-۱۳۹).

در مطالعه حاضر، به منظور طبقه بندی تصاویر به روش فازی از ترکیب روش‌های فازی و حداکثر احتمال استفاده می‌شود. به این صورت که با انتخاب مناطق تعلیمی، پارامترهای میانگین و کواریانس این مناطق به ترتیب با استفاده از توابع ۱ و ۲ به صورت مجموعه فازی برای هر طبقه تعریف می‌گردند (فارن چن و تان لی، ۲۰۰۰، ص ۱).

$$\mu_c^* = \frac{\sum_{i=1}^n f_c(x_i)x_i}{\sum_{i=1}^n f_c(x_i)} \quad (\text{تابع ۱})$$

$$\Sigma_c^* = \frac{\sum_{i=1}^n f_c(x_i)(x_i - \mu_c^*)(x_i - \mu_c^*)^T}{\sum_{i=1}^n f_c(x_i)} \quad (\text{تابع ۲})$$

μ_c^* = میانگین فازی نمونه تعلیمی طبقه C

Σ_c^* = کواریانس فازی نمونه تعلیمی طبقه C

x_i = ارزش برداری پیکسل i ام

$f_c(x_i)$ = تابع عضویت پیکسل x_i برای نمونه تعلیمی طبقه C

N = کل پیکسل های نمونه تعلیمی

T = تابع تبدیل

تابع عضویت هر پیکسل بر اساس الگوریتم حداکثر احتمالی که در فرمول آن از میانگین و کواریانس فازی استفاده می‌شود تعریف می‌گردد. الگوریتم حداکثر احتمال به صورت زیر می‌باشد (فارن چن و تان لی، ۲۰۰۰، ص ۱).

$$p_c^*(x_i) = (2\pi)^{-N/2} |\Sigma_c^*|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(x_i - \mu_c^*)^T \Sigma_c^*^{-1/2} (x_i - \mu_c^*)\right]$$

ارزش تابع عضویت هر پیکسل با استفاده از تابع ۳ محاسبه می‌شود (فارن چن و تان لی، ۲۰۰۰، ص ۱).

$$f_c(x_i) = \frac{P_c^*(x_i)}{\sum_{j=1}^m p_j^*(x_i)} \quad (\text{تابع ۳})$$

$f_c(x_i)$ = تابع عضویت پیکسل x_i به کلاس c

$p_c^*(x_i)$ = حداکثر احتمال تعلق پیکسل x_i به کلاس c

m = تعداد طبقات

n = تعداد باندها

در نهایت پس از محاسبه ماتریس فاصله برای هر طبقه و با داشتن یک ماتریس وزن و با استفاده از تابع ۴ می‌توان عمل Defuzzification، یعنی تعلق دادن هر پیکسل به یک طبقه مشخص را انجام داد (راهنمای نرم افزار ERDAS، ۲۰۰۷، ص ۱۳۸-۱۳۹).

$$T_{[K]} = \sum_{i=0}^d \sum_{j=0}^d \sum_{l=0}^n \frac{W_{ij}}{D_{ijl}[K]} \quad (\text{تابع ۴})$$

که در این فرمول

i, j = به ترتیب نمایه ردیف و ستون در پنجره متحرک

d = اندازه پنجره (۳،۵ یا ۷)

l = نمایه مربوط به لایه در مجموعه فازی

n = تعداد لایه های فازی به کار رفته

w = ماتریس وزن برای پنجره

k = نمایه مربوط به طبقه

$D_{[K]}$ = ارزش ماتریس فاصله برای طبقه k

$T_{[K]}$ = فاصله وزنی طبقه k

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است. صحت اطلاعات در واقع میزان احتمال درستی اطلاعات است (وریکات، ۱۹۹۷، صص ۳۸۱۱-۳۸۳۴). برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده، با قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا^۱ تشکیل شد و بر اساس آن دقت کلی^۲ و ضریب کاپا^۳ محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج مراحل مختلف آماده سازی و اعمال آنالیز طبقه بندی فازی به شرح زیر می‌باشد: به منظور پردازش اولیه تصاویر و شناخت کلی کاربری اراضی منطقه و نیز بررسی مراحل فنولوژیک محصولات عمده و انتخاب بهترین تاریخ برای تصاویر ماهواره‌ای جهت شناسایی محصولات عمده زراعی منطقه، طبقه‌بندی نظارت نشده به روش Iso Data بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد.

بعد از پردازش‌های اولیه مهم‌ترین مرحله برای انجام طبقه‌بندی نظارت شده، تعریف طبقات کاربری و پوشش اراضی زمین است تا با توجه به آن تعاریف مطرح شده برای هر طبقه از منطقه نمونه‌های آزمایشی تهیه شود. در این مطالعه طبقات کاربری‌های موجود در منطقه با انجام عملیات میدانی، با استفاده از نتایج طبقه‌بندی نظارت نشده و هم‌چنین آنالیز طیفی باندها در ۱۱ گروه کاربری و پوشش اراضی برای تصاویر ۱۶ آگوست و ۲۷ آوریل شناسایی و تعریف شدند. آنالیز طیفی تصاویر ۱۶ آگوست و ۲۷ آوریل نشان داد که با استفاده از یک تصویر به دلیل تشابه طیفی کشت‌های مختلف در باندها نمی‌توان الگوی کشت منطقه مورد مطالعه را تفکیک کرد. در شکل ۲ نتایج آنالیز طیفی برای دو تصویر ذکر شده نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در تصویر ۱۶ آگوست سه کشت سیب زمینی، ذرت و یونجه و هم‌چنین در تصویر ۲۷ آوریل کشت‌های گندم، جو و یونجه دارای تشابه طیفی بالا می‌باشند و تفکیک آنها با استفاده از یک تصویر امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین برای تفکیک الگوی کشت منطقه مورد مطالعه باید از سری

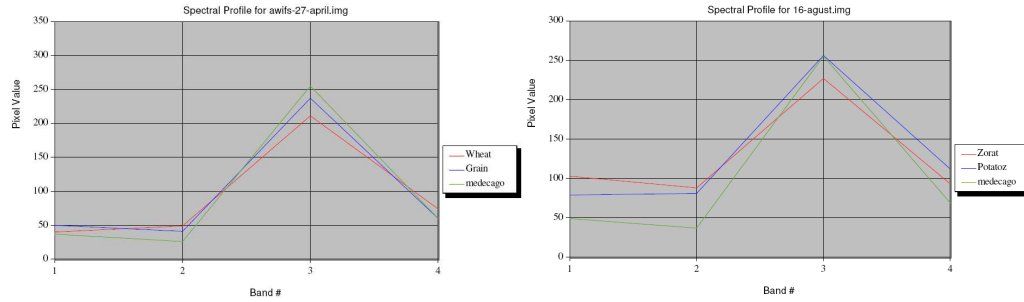
-
- 1 . Confuse Matrix
 - 2 . Overall Accuracy
 - 3 . Kappa Coefficient

زمانی تصاویر استفاده کرد.

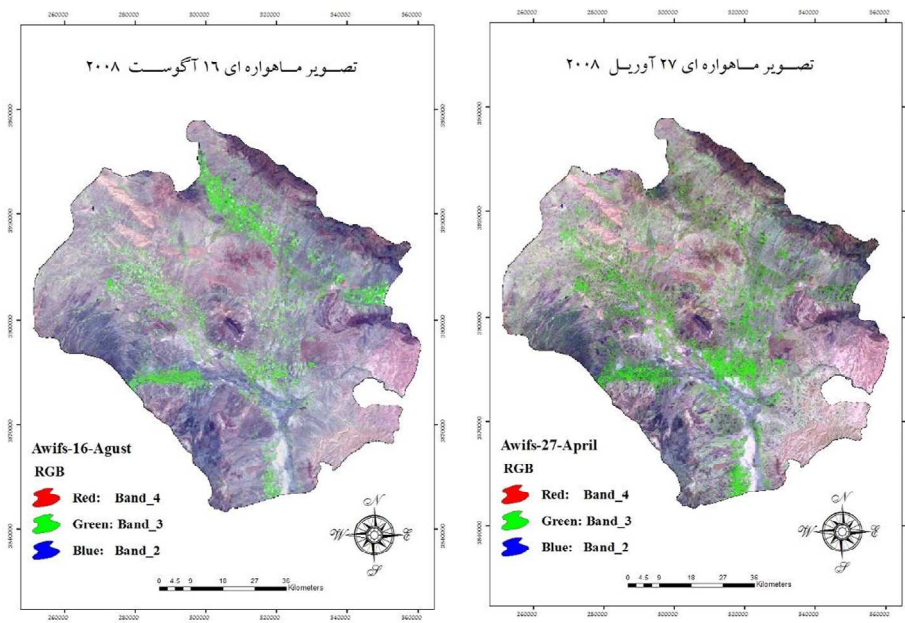
به منظور مشخص کردن مناسب‌ترین تصاویر برای تهیه نقشه الگوی کشت، تقویم زراعی مراحل فنولوژیک محصولات عمده با توجه به تاریخ تصاویر مشخص گردید. کارن و همکاران (۲۰۰۱) نیز در تحقیقی که در منطقه شمال ویسکانسین انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تشابه طیفی بین گونه‌های خزان‌کننده صحت تفکیک‌پذیری را کاهش می‌دهد. در صورتی که تفاوت محسوس فنولوژیک بین گونه‌ها وجود داشته باشد، تفکیک گونه‌ها مطلوب‌تر خواهد بود. بنابراین با توجه به پردازش‌های انجام شده بر روی سری زمانی تصاویر و بررسی تقویم زراعی کشت‌های عمده از میان تصاویر برداشت شده از منطقه دوتاریخ ۲۷ آوریل و ۱۶ آگوست به عنوان تصاویر اصلی برای پردازش نهایی انتخاب شدند و از سایر تصاویر به منظور بررسی دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده استفاده شد. تصاویر به گونه‌ای انتخاب شدند که تصویر اول در زمانی باشد که سیب زمینی کشت نشده باشد (تصویر ۲۷ آوریل)، و در تصویر دوم گندم و جو برداشت شده باشند (تصویر ۱۶ آگوست). شکل ۳ تصاویر ۲۷ آوریل و ۱۶ آگوست از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بعد از تعریف کاربری و پوشش‌های اراضی، برای تهیه مناطق آموزشی با استفاده از نقشه تهیه شده از طبقه‌بندی نظارت نشده که بیانگر خصوصیات طیفی سطح زمین با کاربری معلوم است و هم‌چنین با کمک نقاط ثبت شده با GPS در مراحل بازدیدهای میدانی، بر روی تصویر رنگی کاذب، پیکسل‌هایی که واقعاً معرف بازتاب کاربری یا پوشش مورد نظر بودند به عنوان مناطق آموزشی انتخاب شدند. پیکسل‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که مجموعه پیکسل‌های هر پلی‌گون آموزشی تنها پیکسل‌های یک کاربری خاص را در برگیرد نه آمیخته‌ای از چندین کاربری را به این منظور برای حصول اطمینان از یکنواختی نقاط تعلیمی پروفیل طیفی برای نقاط آموزشی هر طبقه رسم شد. در انتخاب نمونه‌های تعلیمی سعی شد، نمونه‌های تعلیمی از پراکنش مناسب برخوردار بوده و معرف خوبی برای طبقات مورد نظر باشند. هم‌چنین برای ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات پوشش اراضی در نمونه‌های تعلیمی از شاخص واگرایی تبدیل شده استفاده گردید، مقدار این پارامتر بین کلاس‌ها از ۰ تا ۲۰۰۰ متغیر است. عدد صفر نشان دهنده تداخل شدید محدوده‌های آموزشی و مقدار ۲۰۰۰ نشان دهنده جدایش کامل بین کلاس‌ها می‌باشد. اعداد بین ۱۰۰۰ تا ۱۹۰۰ نشان دهنده این است که در بعضی قسمت‌ها کلاس‌ها به نسبت بهتری از هم جدا شده و در برخی موارد تداخل طیفی دارند. واضح است مقدار بالای تفکیک‌پذیری اشاره

بر نتیجه خوب طبقه بندی دارد. نتایج برآورد این شاخص که در جدول‌های (۲ و ۳) آورده شده است، نشان می‌دهد که میانگین تفکیک پذیری برای تصویر ۱۶ آگوست و ۲۷ آوریل به ترتیب برابر است با ۱۹۸۸ و ۱۹۲۶ و حداقل تفکیک پذیری به ترتیب برابر با ۱۷۰۷ (بین طبقات کوه با مرتع و بایر) و ۱۱۰۴ (بین ترکیبات جفتی طبقات معدن و شوره زار) می‌باشد، که نشان دهنده تفکیک پذیری پایین بین این طبقات می‌باشد.



شکل ۲: نتایج آنالیز طیفی بر روی دو تصویر ۱۶ آگوست و ۲۷ آوریل



شکل ۳: تصاویر ۲۷ آوریل و ۱۶ آگوست منطقه مورد مطالعه

	اراضی و باغ و باغ و قلمستان زراعی	سطح آبی قلمستان	مناطق مسکونی	شخم	شوره زار	مناطق آهکی	معدن	مزارع برداشت شده	کوه و مراتع کم تراکم	مراتع و بایر
اراضی زراعی	۰									
باغ و قلمستان	۲۰۰۰	۰								
سطوح آبی	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰							
مناطق مسکونی	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۰						
شخم	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۷	۰					
شوره زار	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰				
مناطق آهکی	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۰			
معدن	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰		
مزارع برداشت شده	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۰		
کوه و مراتع کم تراکم	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۴۸	۱۹۹۹	۱۹۰۱	۲۰۰۰	۱۹۸۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰
مراتع و بایر	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۹۵۷	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۱۸۸۳	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۷۰۷

جدول ۲: میزان جدایی پذیری نقاط تعلیمی طبقه‌های کاربری اراضی بر پایه معیار شاخص واگرایی

تبدیل شده در تصویر ۱۶ آگوست

	مناطق مسکونی	اراضی دیم مراتع و بایر قلمستان	باغ و اراضی کوه و مراتع کم تراکم	اراضی کوه و مراتع کم تراکم	سطوح آبی	شخم	معدن	شوره زار مناطق آهکی
مناطق آهکی	۰							
شوره زار	۲۰۰۰	۰						
معدن	۲۰۰۰	۱۱۰۴	۰					
شخم	۱۹۹۸	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰				
سطوح آبی	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰			
کوه و مراتع کم تراکم	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۶۴۵	۱۹۸۵	۰		
اراضی زراعی	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۰	
باغ و قلمستان	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۵۲۹	۰
مراتع و بایر	۱۹۸۷	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۴۸۳	۱۹۹۶	۱۶۲۳	۱۹۹۹	۰
اراضی دیم	۱۹۶۷	۱۹۷۱	۱۵۶۱	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۱۹۹۳
مناطق مسکونی	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۹۹۷	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۰
								۱۹۵۷
								۱۸۸۸
								۰

جدول ۳: میزان جدایی‌پذیری نقاط تعلیمی طبقات کاربری اراضی بر پایه معیار شاخص واگرایی

تبدیل شده در تصویر ۲۷ آوریل

استفاده از منطق فازی در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور به دلیل قابلیت‌های ویژه آنها به طور قابل ملاحظه‌ای در حال گسترش هستند. این روش‌ها برای نمایش پوشش پیکسل‌های مخلوط کاربرد زیادی دارند. روش‌های طبقه‌بندی فازی از جمله روش‌هایی هستند که قادرند نتایجی ارایه دهند که با واقعیت زمینی تطابق بهتری دارند. در این روش‌ها مقادیر مختلفی به عنوان درجه عضویت هر پیکسل بر اساس پوشش‌های مختلف موجود در محدوده آنها محاسبه می‌شود در حالی که در روش‌های طبقه‌بندی قطعی هر پیکسل تصویر فقط به یک کلاس نسبت داده می‌شود.

در این مطالعه به منظور طبقه‌بندی تصاویر به روش فازی از روش حداکثر احتمال فازی استفاده شد. با توجه به اینکه روش طبقه‌بندی فازی موجب کسب آگاهی‌های مفیدی در مورد پیکسل‌های مخلوط و واقع شده در مرز بین پدیده‌ها می‌شود، لذا طبقه‌بندی فازی با استفاده از نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی دو سری زمانی تصاویر (۱۶ آگوست و ۲۷ آوریل) بر روی ترکیب ۴ باند اصلی تصاویر و هم‌چنین بهترین ترکیب دو تصویر اعمال گردید و تصاویر عضویت مربوط به هر کلاس استخراج شد. آنگاه نتایج طبقه‌بندی فازی به طبقه‌بندی قطعی تبدیل شد. با استفاده از این روش تعداد ۱۰ طبقه کاربری برای تصاویر اصلی و بهترین ترکیب تصاویر تهیه شد. در نقشه طبقه‌بندی فازی حاصل از بهترین ترکیب تصویر ۲۷ آوریل دیم کاری‌ها به خوبی از پوشش گیاهی تفکیک شدند. با بررسی نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده مشاهده می‌کنیم، که در تصاویر حاصل از اعمال روش حداکثر احتمال فازی، کاربری پوشش گیاهی با کاربری باغ و قلمستان، مناطق بایر و مناطق مسکونی و هم‌چنین کاربری معادن با شوره زار در بعضی از مناطق با یکدیگر آمیخته شده‌اند. که دلیل آن بازتاب مشابه برخی از آنها در باندهای مختلف سنجنده می‌باشد. به دلیل وجود تشابهات بازتاب بین کاربری و پوشش‌های ذکر شده اشتباهاتی در طبقه‌بندی تصاویر به روش فازی برای تفکیک این لایه‌ها رخ داده است، اما اشتباهات این روش نسبت به روش‌های متداول کم‌تر می‌باشد. در نقشه کاربری اراضی، مشاهده شد که امکان تفکیک پوشش‌های طبیعی مانند باغات از سایر پوشش‌های گیاهی، با دقت بالا وجود نداشت و در اکثر موارد پیکسل‌های نسبتاً زیادی از پوشش گیاهی درون باغات دیده می‌شد که به دلیل تراکم کم باغ و قلمستان و هم‌چنین به علت کشت آگرو فارستری یا کشاورزی تلفیق با جنگل‌داری می‌باشد. بنابراین برای تفکیک لایه باغ و قلمستان از طبقه پوشش

گیاهی در روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال فازی، در این مطالعه با استفاده از نتایج طبقه‌بندی فازی، سایر تصاویر مورد مطالعه و هم‌چنین بازدیدهای میدانی زیر پنجره‌هایی از تصاویر مورد نظر تهیه گردید، با توجه به اینکه در این زیر پنجره‌ها، پوشش گیاهی وجود نداشت، با حذف اثر بازتاب مشابه پوشش گیاهی امکان تهیه لایه باغ و قلمستان با اعمال طبقه‌بندی مجدد بر روی تصاویر مربوطه، لایه باغ و قلمستان با دقت بیشتر تهیه شد. سپس با استفاده از تکنیک‌های GIS لایه باغ و قلمستان به نقشه کاربری اراضی اضافه شد. برای تفکیک لایه معادن از شوره زار هم از این روش استفاده شد. مناطق مسکونی بر روی تصاویر مورد مطالعه بازتاب مشابهی با مناطق بایر و شوره زار داشتند. هم‌چنین به دلیل سطح محدود این مناطق و کوچک بودن مقیاس تصاویر بازتابش این مناطق تحت بازتابش سایر پدیده‌ها قرار می‌گیرند. شاخص $^{1}NDBI$ (شاخص تفکیک مناطق مسکونی) شده برای تفکیک مناطق مسکونی، بنا به دلایل ذکر شده این شاخص قادر به متمایز نمودن مناطق مسکونی نبود. بنابراین با انجام بازدیدهای میدانی، بررسی نقشه‌های توپوگرافی، موقعیت این مناطق با استفاده از GPS تهیه شد و محدوده آنها با استفاده از زیر پنجره جدا شد. با اعمال طبقه‌بندی مجدد بر روی تصاویر زیر پنجره لایه مناطق مسکونی با هریک از روش‌های طبقه‌بندی تهیه شد. به طور کلی نقشه کاربری اراضی حاصل از روش طبقه‌بندی فازی بهتر از طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از روش‌های متداول می‌باشد. از آنجا که به دلیل تشابه طیفی محصولات عمده منطقه مورد مطالعه تفکیک الگوی کشت با استفاده از یک تصویر ممکن نبود از دوسری زمانی تصاویر طبقه‌بندی شده با استفاده از روش فازی استفاده شد. برای استخراج الگوی کشت، طبقه پوشش سبز نقشه‌های کاربری اراضی حاصل از هر دو تصویر (۲۷ آوریل و ۱۶ آگوست) از نقشه‌های اصلی استخراج شدند. کاربری عمده طبقه پوشش سبز نقشه کاربری اراضی ۲۷ آوریل شامل کاربری گندم، جو و یونجه می‌باشد و کاربری عمده طبقه پوشش سبز نقشه کاربری اراضی ۱۶ آگوست شامل کاربری سیب زمینی و یونجه می‌باشد. به منظور تهیه نقشه الگوی کشت از جبر بولین (عملگر and و xor) استفاده شد. نقشه الگوی کشت یونجه از تلفیق نقشه پوشش سبز تصویر اول با تصویر دوم با استفاده از عملگر and و نقشه الگوی کشت سیب زمینی حاصل تلفیق نقشه کشت یونجه با نقشه پوشش سبز تصویر دوم با کمک عملگر XOR و

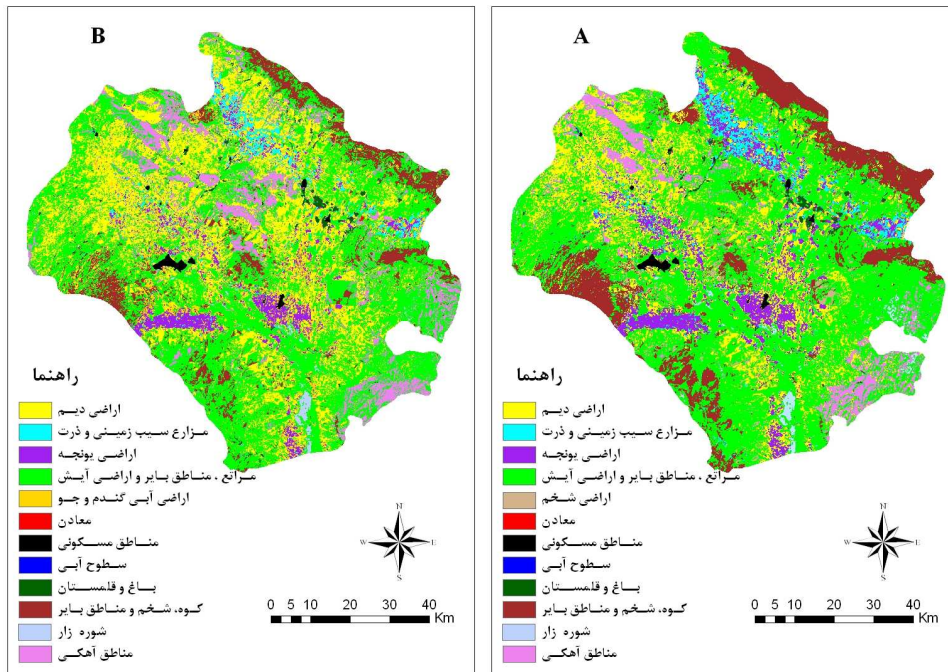
هم‌چنین نقشه کشت گندم و جو از تلفیق نقشه پوشش سبز تصویر اول با نقشه کشت یونجه با استفاده از عملگر XOR تهیه شد. در نهایت با استفاده از این روش نقشه کاربری اراضی با ۱۲ طبقه برای ترکیب چهار باند اصلی و هم‌چنین برای بهترین ترکیب تهیه شد. در شکل (۴) نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال فازی برای بهترین ترکیب باندی (ترکیب ۴-۳-۲) و هم‌چنین ترکیب چهار باند اصلی تصاویر نشان داده شده است.

پس از انجام طبقه‌بندی، موقعیت بیش از سه درصد طبقات با پراکندگی مناسب در منطقه مشخص و با استفاده از این نمونه‌های زمینی که در مرحله طبقه‌بندی بکار نرفته بودند، ارزیابی صحت بر روی تصویر طبقه‌بندی شده صورت گرفت که ضریب کاپا و صحت کلی به ترتیب برابر است با ۸۶ و ۸۸ درصد به دست آمد.

نتایج ارزیابی صحت نشان می‌دهد که در طبقه‌بندی نظارت شده به روش حداکثر احتمال فازی بالاترین دقت مربوط به طبقه‌بندی بهترین ترکیب باندی می‌باشد. هم‌چنین مقایسه نقشه کاربری اراضی حاصل از بهترین ترکیب باندی و ترکیب چهار باند اصلی در این روش نشان می‌دهد که در نقشه کاربری اراضی حاصل از بهترین ترکیب باندی اراضی گندم و جو دیم از مزارع آبی تفکیک شد، درحالی که در ترکیب چهار باند اصلی این دو کاربری از هم تفکیک نشدند. مساحت طبقات گوناگون نقشه پوشش اراضی و درصد آنها با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی محاسبه گردید که در جدول ۴ آورده شده است

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت به درصد
سیب زمینی و ذرت	۲۷۲۹۳/۵۵	۳/۷۵
یونجه	۵۲۸۰۹/۹۳	۷/۳
گندم و جو	۱۴۰۵۱۰/۰۵	۱۹/۳
معادن	۲۵۷/۱۵	۰/۰۳۵
شهر	۳۱۷۴/۹	۰/۴۴
آب	۴۲/۹۶	۰/۰۰۵
باغ	۴۵۸۶/۷	۰/۶
بایر، آیش و مرتع	۳۵۱۵۳۳/۹۹	۴۸/۳
شوره زار	۵۸۶۰/۵۶	۰/۸
کوه و مرتع	۸۷۴۴۳/۹	۱۲/۰۳
مناطق آهکی	۳۶۲۷۵/۷	۴/۹۹
شخم	۱۷۴۸۰/۱	۲/۴
کل	۷۲۷۲۶۹/۵	۱۰۰

جدول ۴: مساحت کلاس‌های مختلف بر حسب درصد و هکتار



شکل ۴: نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه بندی حداکثر احتمال فازی (A ترکیب ۴ باند اصلی، B بهترین ترکیب باندی (ترکیب باندی ۳-۲))

نتیجه

این تحقیق نشان داد بهترین روش برای تهیه نقشه کاربری اراضی و تعیین نقشه الگوی کشت و تفکیک محصولات عمده زراعی (گندم، جو، یونجه و سیب زمینی) در منطقه مورد مطالعه، استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای است، به گونه‌ای که در زمان اول هنوز سیب زمینی کشت نشده باشد و در زمان دوم این محصول در اوج سبزی‌نگی باشد و گندم و جو برداشت شده باشند. لذا مشخص کردن زمان برداشت تصویر با تهیه جدول زمان‌بندی مراحل فنولوژیک کشت‌های عمده در منطقه امکان‌پذیر می‌گردد. برای منطقه مورد مطالعه براساس تفاوت اقلیمی و تفاوت در کاشت و برداشت، ۲ سری زمانی ۲۷ آوریل و ۱۶ آگوست بهترین سری‌های زمانی بودند. به طور کلی نتایج ارزیابی صحت نقشه کاربری اراضی و الگوی کشت به دست آمده از طبقه‌بندی فازی حاصل از دو سری زمانی تصویر ماهواره‌ای نشان داد که این روش دارای دقت قابل قبولی می‌باشد.

هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت بالایی برای تفکیک محصولات زراعی و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و تعیین سطح زیر کشت با دقت مناسب در مقیاس منطقه‌ای برخوردار است. سهل‌الوصول بودن، دسترسی به نقاط دور افتاده و کوهستانی و دقت نسبتاً بالا، هزینه پایین، استخراج اطلاعات در زمان کم، سطح وسیع پوشش و قابل تکرار بودن، از مزایای داده‌های ماهواره‌ای نسبت به سایر روش‌های نقشه‌برداری می‌باشد. از سوی دیگر داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند کاربردهای دیگری در بخش کشاورزی از جمله پیش‌بینی و برآورد خسارت، استرس‌های گیاهی، وضعیت زهکشی و... نیز داشته باشند.

با توجه به نتایج حاصله، پیشنهاد می‌گردد با به کارگیری این روش نسبت به تهیه نقشه اراضی زیر کشت محصولات مختلف در سطح استان اقدام گردد.

منابع و مأخذ

۱. خلفی، ج. و غ.ر. داوریناه. (۱۳۸۷)، تخمین سطح و تهیه نقشه اراضی زیر کشت گندم دیم با استفاده از GIS و سنجش از دور در حوزه آبخیز زنجانرود. همایش ژئوماتیک ۸۷، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.
۲. خواجه الدین، س.ج. و س. پورمنافی، (۱۳۸۶)، تعیین سطح شالیزارهای حاشیه زاینده‌رود در منطقه اصفهان باداده‌های رقومی سنجنده‌های ماهواره IRS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره اول.
۳. سلیمی، س.، و کاظمی، ف. (۱۳۸۷)، «کاربرد تصاویر ماهواره IRS به منظور تهیه نقشه پراکنش برنج در شهرستان مرودشت».، همایش ژئوماتیک ۸۷، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.
4. Caren, C. D., J. M. David and C. R. Volker (2001). "Phonological difference in Tasseled Cap indices improves deciduous forest classification", *Rem. Sen. Environ.* 80: 460-472.
5. ERDAS, (2007), *Erdas Field Guide*, Volume Tow, pp.138-139.
6. Farn Chen, C. and Y. Tan Li. (2000), *Supervised Classification of Multi-Temporal Remote Sensing Images*, Int: 20 Th Asian Conferences on Remote Sensing.
7. Ranjbar, H. and M. Honarmand, (2004). "Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt", using fuzzy classification, *International Journal of Remote Sensing*, V.25, pp.4729-4741.
8. Sarnam, S., A. Shefali, P.K. Joshi and P.S. Roy. (2002). "Biome level characterization (BLC) of western India – a geospatial approach". *International Society for Tropical Ecology*. 43(1): 213-228.
9. Sawasawa, H.L.A. (2003). *Crop yield estimation: integration RS, GIS and m anagement factors*. ITC, International Institute for Geo-information science and earth observation enschede, The Netherlands.
10. Wardlow, D.B., L.E. Eghbert and J.H. Castens (2007). "Analysis of time-series MODIS 250m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great plains". *Journal of Remote Sensing of Environment*. 108:290-310 .
11. Wrighat, G.G. and J.G. Morrice, (1997) "Landsat TM spectral information to enhance the land cover of Scotland" 1988. Dataset, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.18, Issue 18, 1997, Pages 3811-3834.
12. Yuan, H., (2002). *Development and evaluation of advanced classification systems using remotely sensed data for accurate land-use/land-cover mapping*, PhD Thesis, Department of Forestry, North Carolina State university