

مقایسه‌ی روش‌های حداکثر احتمال و فازی برای تهیه نقشه پوشش اراضی حوزه شهری بهشهر

کبریا جعفری^۱

مرضیه علی خواه اصل^{۲*}

alikhahasl@pnu.ac.ir

یحیی کوچ^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۹

چکیده

زمینه و هدف: نقشه‌های کاربری اراضی از مهم‌ترین نقشه‌ها برای برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین است که امروزه به طور وسیعی توسط تصاویر ماهواره‌ای تهیه می‌شوند. طبقه‌بندی کاربری پوشش اراضی با استفاده از این تصاویر یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور است و امروزه، الگوریتم‌های زیادی به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی توسعه یافته است که هر کدام از دقت خاصی برخوردارند. هدف از تحقیق حاضر، مقایسه دقت طبقه‌بندی روش حداکثر احتمال و فازی در تهیه نقشه کاربری اراضی در حوزه شهری بهشهر استان مازندران است.

روش بررسی: ابتدا تصویر ماهواره لندست مربوط به اردیبهشت سال ۱۳۹۴ تهیه و پس از تصحیح هندسی و ارتفاعی در محیط نرم افزار Erdas Imagine، طبقه‌بندی تصاویر به روش نظارت شده با خوارزمیک حداکثر احتمال و فازی در حوزه شهری بهشهر استان مازندران انجام پذیرفت. دقت طبقه‌بندی نیز با شاخص کاپا و صحت کلی بررسی شد و مقایسه دقت طبقه‌بندی صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در هر دو روش بیشترین بخش از منطقه را اراضی پهن برگ و کمترین آن را اراضی شهری به خود اختصاص داده است. همچنین مقایسه دقت طبقه‌بندی با دو روش نشان داد که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپا ۰/۸۷ و صحت کلی ۸۹/۵۲٪ نسبت به روش فازی با ضریب کاپا ۰/۸۶ و صحت کلی ۸۸/۵۷٪ از دقت طبقه‌بندی بیشتری برخوردار است.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده این امر است که علی‌رغم بالا بودن قدرت تصاویر لندست در تهیه نقشه پوشش اراضی، لازم است تا با استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی، بهترین روش از حیث دقت برای تهیه نقشه پوشش اراضی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بهشهر، حداکثر احتمال، فازی، سنجش از دور.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته محیط زیست (گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس نور، ایران.

Comparing Maximum Likelihood and Fuzzy Classification Methods for Mapping Land Cover (Case Study: Behshahr urban Catchment)

Kebriya Jafari¹

Marzieh Alikhah-Asl^{2*}

alikhahasl@pnu.ac.ir

Yahya kooch³

Admission Date: April 24, 2024

Date Received: February 28, 2024

Abstract

Background and Objective: Land use maps are one of the most important maps for land use planning which is being prepared using satellite images. Land use classification of satellite images is one of remote sensing utilities and Now days, different classification methods have been expanded for mapping land cover that have different accuracies. The aim of this research is to Compare Maximum Likelihood and Fuzzy Classification Methods for mapping land use in Behshahr urban catchment located in Mazandaran province.

Material and Methodology: First OLI image for the year 2015 was prepared and after geometric and elevation corrections, image was classified using maximum likelihood and Fuzzy methods in Erdas Imagine software. Kappa and overall accuracy indexes were used to calculate classification accuracy.

Findings: Based on results, in both methods Broad-leaved tree area involve most part of the area while urban area is the lowest. Also results showed Maximum likelihood method with kappa 0.87 and overall accuracy 89.52% in comparison with Fuzzy method with kappa 0.86 and overall accuracy 88.57% has better classification accuracy.

Discussion and Conclusion: Results show despite high capability of Landsat images in mapping land use, it is necessary to land mapping using the best classification method resulted from comparing different classification accuracies.

Keywords: Behshahr, Maximum likelihood, Fuzzy, Remote Sensing.

مقدمه

و قابلیت اراضی در هر منطقه نقش و اهمیت آمار و اطلاعات مکان‌دار را بیش از پیش روشن می‌سازد. روش‌های گوناگونی برای تولید این نوع از آمار و اطلاعات وجود دارد، از جمله این

برای مدیران و سیاست‌گذاران، آمار و اطلاعات جهت مدیریت موفق و برنامه‌ریزی، فوق‌العاده ضروری است. با توجه به مسایل زیست محیطی و توسعه پایدار در جهت استفاده بهینه از استعداد

1- M.S. student, Environmental field (trend: assessment and land use planning), Payame Noor university, Tehran, Iran.

2- Assistant professor, Department of Agriculture and Natural Resources, Payame Noor University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author)

3- Assistant professor of forestry, Natural resources faculty, Tarbiat Modares university, Noor, Iran.

روش‌ها می‌توان به روش‌های سنتی (نقشه برداری‌های زمینی) و پیشرفته (نقشه برداری هوایی-ماهواره‌ای) اشاره کرد. در مورد روش‌های پیشرفته، فن‌آوری سنجش از دور به دلایل گوناگون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به گونه‌ای که با توسعه و گسترش این فن‌آوری انقلابی در تولید آمار و اطلاعات مکاندار به وجود آمده است. با توجه به مزایای تصاویر سنجش از دور هم‌چون سهولت در دسترسی، کاهش هزینه‌ها و سرعت در به روز کردن اطلاعات، با پردازش و تفسیر آن‌ها، اهمیت کاربردهای علوم و تکنولوژی فضایی بیش از پیش مشخص شده است (۱). تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند اطلاعات صحیح و بروز از پوشش سطح زمین را در اختیار تحلیل‌گران قرار دهد که با تعبیر و تفسیر این داده‌ها و با استفاده از داده‌هایی مثل نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان از وضعیت کاربری و پوشش فعلی اراضی در مناطق مختلف آگاه شد (۲). از آنجایی که امروزه آگاهی از کاربری فعلی اراضی به‌عنوان یکی از فاکتورهای اساسی در برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین مطرح می‌باشد، بدون شک تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های دقیق سنجش از دور می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای، جهت توسعه مدیریت زمین و استفاده بهینه از آن کمک شایانی کند (۳). سنجش از دور به عنوان تکنولوژی و علمی تعریف می‌شود که داده‌ها را از اشیاء یا مکان‌های دور با استفاده از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های راداری و مشاهدات زمینی توسط هواپیما یا ماهواره جمع‌آوری می‌کند (۴) و فرآیند پایش و تشخیص ویژگی‌های فیزیکی یک منطقه را با اندازه‌گیری تشعشعات ساطع شده و منعکس شده از یک ابزار هوایی معمولی بر روی ماهواره یا هواپیما توصیف می‌کند. نوآوری‌های اخیر در سرعت و مقیاس جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور، فرصت‌های جدیدی را برای پر کردن شکاف‌های مکانی-زمانی در دانش ما از بخشهای مختلف ارائه می‌کند (۵). داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند به هنگام بودن، تکراری بودن، چندطیفی بودن، تنوع رادبومتریکی،

توان تفکیک مکانی مناسب، فرمت رقومی، دید وسیع و یکپارچه از پتانسیل بالایی برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی برخوردار است (۶). روش‌های مختلفی در سنجش از دور برای طبقه‌بندی پیکسل‌ها برای تهیه نقشه کاربری اراضی وجود دارند که از دقت-های متفاوتی برخوردار هستند. این روش‌ها در دو دسته کلی طبقه‌بندی نظارت شده^۱ و نظارت نشده^۲ تقسیم بندی می‌شوند (۷). از مهم‌ترین روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده روش حداکثر احتمال^۳ و فازی است که تاکنون مورد استفاده بسیاری از تحقیقات قرار گرفته است. روش حداکثر احتمال، یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد که برای کلاس-های چند طیفی مناسب‌تر است (۸). منطق فازی یا Fuzzy Logic برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط دکتر لطفی‌زاده، استاد علوم کامپیوتری دانشگاه برکلی کالیفرنیا مطرح شد. منطق فازی، درستی هر چیزی را با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است نشان می‌دهد. این تکنیک در سنجش از دور، به منظور کمک به طبقه‌بندی داده‌هایی که دقیقاً به یک طبقه تعلق ندارند به کار برده می‌شود. این طبقه‌بندی، با استفاده از یک تابع عضویت عمل می‌نماید و مقدار یک پیکسل، با توجه به این که به یک کلاس، نزدیک‌تر از کلاس دیگر است تعیین می‌شود. طبقه‌بندی فازی، مرزهای معینی ندارد و هر پیکسل می‌تواند متعلق به چند کلاس باشد (۹). در ارتباط با پیشینه تحقیق مطالعاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. علیخواه اصل و ناصری (۲۰۲۲) (۱۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده‌ی حداکثر احتمال و فازی نقشه پوشش اراضی حوزه آبخیز قوری چای را تهیه نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با ضریب کاپا ۸۲ / ۰ و صحت کلی ۸۸٪ نسبت به روش فازی از دقت بیشتری در فرایند طبقه‌بندی برخوردار است. سلیمی و همکاران (۲۰۱۹) (۱۱) نقشه شوری خاک سطحی با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور روش نظارت شده و الگوریتمهای مختلف تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند

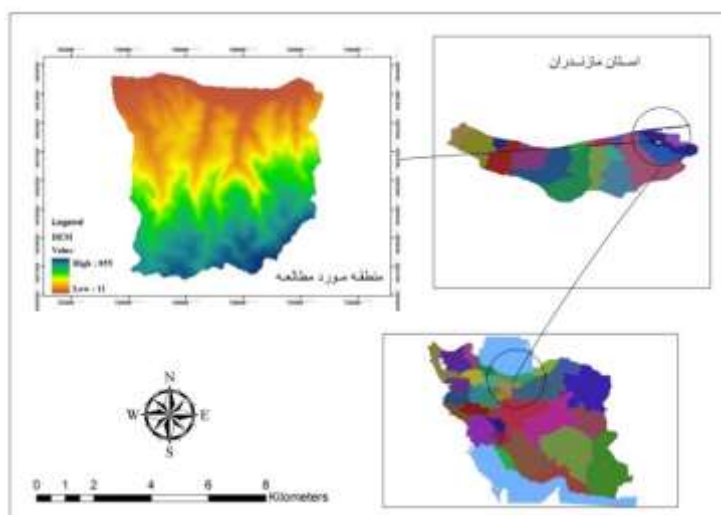
حوزه شهری بهشهر به دلیل مساحت زیاد و نقش مهم در تامین امرار معاش جمعیت ساکن در این حوزه، برای انجام این پژوهش انتخاب شد و هدف از انجام این پژوهش علاوه بر تهیه نقشه کاربری به روز از منطقه، مقایسه دقت طبقه‌بندی دو روش پر کاربرد در طبقه‌بندی نظارت شده شامل روش فازی و حداکثر احتمال و استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸ است تا با مشخص شدن روش برتر، در مناطق مشابه از این روش برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه شهری بهشهر در شرق استان مازندران و در شهرستان بهشهر واقع است که از مساحتی بالغ بر ۴۱۲۰ هکتار برخوردار بوده و از نظر موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ} 54'$ تا $53^{\circ} 30' 23''$ و $36^{\circ} 42' 05''$ عرض شمالی 53° طول شرقی و $37^{\circ} 39'$ تا 36° واقع شده است. حداقل ارتفاع ۱۱ و حداکثر ارتفاع ۸۵۵ متر از سطح دریا می باشد. عمده شیب منطقه ۱۵ تا ۳۰ درصد، بارندگی سالانه حدود ۶۰۰ میلی متر و جهت باد غالب شمال غربی _ جنوب شرقی می باشد. (۱۵). شکل (۱) موقعیت حوزه در استان را نشان می‌دهد.

که الگوریتم حداکثر احتمال با ارائه صحت بالاتر نسبت به دیگر الگوریتمهای متداول کارایی بالای خود را نشان داد. مغانی رحیمی و همکاران (۲۰۲۲) (۱۲) برای بررسی تغییرات پوشش شهری و تغییرات پوشش اراضی از تلفیق باندهای تصاویر ماهواره ای لندست ۷ و ۸ و همچنین الگوریتم حداکثر احتمال استفاده کردند و نتایج صحت سنجی نقشه ها نشان داد، که مقدار ضریب کاپا برای سالهای مورد مطالعه به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۹۰ و ۰/۸۶ و مقادیر صحت کلی نیز، ۰/۸۹، ۰/۹۲ و ۰/۸۹ می باشد و به این نتیجه رسیدند که اراضی مسکونی روند افزایشی داشته اند. ژائو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) (۱۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به تهیه نقشه کاربری اراضی در شیلی پرداختند و نتیجه گرفتند که برای افزایش دقت طبقه بندی، بایستی علاوه بر انتخاب روش مناسب طبقه‌بندی، از اطلاعات جانبی نیز استفاده نمود. آقالو و همکاران (۲۰۲۳) (۱۴) برای انتخاب مکان بهینه برای سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر هیبریدی خورشیدی-بادی در بنگلادش از یک روش منطق فازی مبتنی بر GIS استفاده کردند و مجموع ۰/۱۱ و ۰/۲۵ مساحت به ترتیب مناسب و نسبتاً مناسب بوده و این روش بهتر از روشهای مطالعات قبلی می باشد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure1. Study area

روش تحقیق

ابتدا تصویر مورد نظر مربوط به اردیبهشت ۱۳۹۴ از تارنمای سازمان زمین شناسی آمریکا دریافت گردید و باندهای مورد نظر برای طبقه‌بندی انتخاب گردید که استفاده از باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ می باشد. در ادامه پیش پردازش تصویر مورد نظر صورت گرفت. تصویر آخذ شده از نظر وجود خطاهای اتمسفری از جمله پوشش ابر بررسی شد و مشخص شد در محدوده منطقه مورد مطالعه دارای پوشش ابر نبود. همچنین بررسی کیفیت رادیومتری تصویر نشان داد که تصویر مربوطه از کیفیت مطلوب برخوردار است و هیچ یک از خطاهای راه راه شدگی و پیکسل-های تکراری، در آن وجود ندارد. در ادامه باتوجه به این که حوزه مورد مطالعه دارای اختلاف ارتفاعی زیادی بود، انجام تصحیحات ارتفاعی ضروری بود. بدین منظور با استفاده از لایه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه در محیط Arc GIS 9.3 و استفاده از تابع Topo to raster لایه مدل رقومی ارتفاعی منطقه به دست آمد و در محیط نرم افزار Erdas Imagen 2014 با استفاده تصاویر هر باند و لایه مدل رقومی ارتفاعی و همچنین اطلاعات موجود در متادیتای تصویر دریافتی، تصحیحات توپوگرافیک انجام یافت که با استفاده از روش مینارت (رابطه ۱) و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و آزیموت و ارتفاع خورشیدی حاصل از فایل متنی ضمیمه تصویر انجام شد (۱۶). رابطه (۱):

$$BV_{normal\lambda} = \frac{BV_{observed\lambda} \cos e}{K (\cos i) (\cos e)}$$

که در این رابطه؛ $BV_{normal\lambda}$ مقادیر روشنایی نرمال شده، $BV_{observed\lambda}$ مقادیر روشنایی مشاهده شده، $\cos i$ کسینوس زاویه برخورد، $\cos e$ کسینوس زاویه شیب و K ثابت مینارت است (۱۷). به منظور اطمینان از صحت هندسی تصویر، حدود ۱۷ نقطه کنترل زمینی قابل تشخیص بر روی تصویر، از محدوده مورد مطالعه برداشت شد. همچنین از لایه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، لایه‌های جاده و آبراهه به صورت رقومی استخراج شدند و با تصویر مورد نظر، هم‌پوشانی گردیدند و بررسی بصری نشان

داد که تصویر از صحت هندسی دارای خطا است به همین منظور با استفاده از حدود ۲۰ نقطه در مراکز تقاطع جاده‌ها و آبراهه‌ها از روی نقشه توپوگرافی منطقه و مختصات آن‌ها تصویر از نظر هندسی با ریشه متوسط مربع خطای برابر ۰/۲۲ تصحیح هندسی شد. گفتنی است در تصحیح هندسی، مقدار ریشه متوسط مربع خطای قابل قبول، کم‌تر از ۰/۵ پیکسل است (۱۸). در ادامه تعداد کلاس‌های کاربری و پوشش زمین با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و کلاس‌های مورد نیاز برای نقشه پوشش زمین انتخاب شد که شامل ۶ کلاس باغ مرکبات، جنگل سوزنی برگان، جنگل پهن برگان، زراعت گندم‌زار، اراضی مسکونی و مرتع می‌شود. در ادامه اقدام به تهیه نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی تصاویر شد. نمونه‌های تعلیمی بایستی به صورتی انتخاب شوند که بر روی پدیده‌های گوناگون تصویر، به شکل مناسب پراکنده شده باشند (۱۹). حداقل تعداد پیکسل مورد نیاز برای هر کلاس $N+1$ است که حرف N به معنای تعداد باندهای مورد استفاده در عملیات طبقه بندی است، اگرچه تعداد پیکسل‌های مورد نیاز برای هر کلاس $10 \cdot N$ یا حتی $100 \cdot N$ نیز پیشنهاد شده است (۲۰). با رعایت شرایط فوق، با کاربرد سامانه موقعیت یاب جهانی، نمونه‌های تعلیمی از سطح حوزه تهیه شد. همچنین برای مناطق مرتفع نیز که امکان دسترسی میسر نبود، از تصاویر مربوط به Google Earth استفاده شد. در ادامه، برای طبقه‌بندی تصاویر از خوارزمیک بیش‌ترین شباهت و فازی استفاده شد.

روش حداکثر احتمال

از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌ها ذکر شده است (۱۱). روش حداکثر احتمال، واریانس و کواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند. برای این کار فرض می‌شود همه مناطق آموزشی از پراکنش نرمال برخوردارند. در حقیقت نمونه‌های کلاس آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیش‌تری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی، در این گستره ی پیوسته قرار گیرد. بنابراین

شرط توزیع نرمال در روش حداکثر احتمال، اهمیت خاصی دارد (۲۱). به طوری که این روش از داده‌های آموزشی، برای محاسبه ی میانگین برداری M_c برای هر طبقه استفاده می کند و

$$P_c = [-0.5 \log_e \{ \det(v_c) \}] - 0.5 [(X - M_c)^T (v_c)^{-1} (X - M_c)]$$

که در آن:

$P_c(a_c) > P_i(a_c)$ $r_i = 1, 2, 3, \dots, m$ احتمال وجود آن طبقه است. در صورتی که دانش مورد نظر در مورد آن عارضه زمینی وجود نداشته باشد از لحاظ نظری به P_i برای هر طبقه

وزن مساوی داده می‌شود. اگر احتمال یک طبقه بیش از دیگر طبقه‌ها باشد، کاربر می‌تواند مجموع‌هایی از احتمال پیشین‌های در اولویت را برای عارضه‌ها تعریف کند و در این صورت رابطه کمی اصلاح می‌شود (۲۱). رابطه (۳):

$$P_c(a_c) = \log_e(a_c) - [-0.5 \log_e \{ \det(v_c) \}] - 0.5 [(X - M_c)^T (V_c)^{-1} (X - M_c)]$$

که در آن $P_c(a_c) > P_i(a_c)$ $r_i = 1, 2, 3, \dots, m$ می‌باشد.

روش فازی

نظریه ی مجموعه‌های فازی، فرضیه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. نظریه مجموعه‌های فازی که به منظور از بین بردن ابهام در داده‌ها به کار می‌رود، مفهوم جدیدی است که بر اساس آن، عضویت جزئی اجازه می‌دهد که اطلاعات در موقعیت‌های پیچیده‌تر مثلاً پوشش‌های مخلوط یا شرایط حد واسط، بهتر نمایش داده شده و به کار روند، اگرچه تحلیل تصاویر در سنجش از دور با استفاده از مجموعه‌های فازی، دشوار و مشکل است، اما با توجه 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 (۲۱). در نرم افزار ERDAS این طبقه‌بندی، با محاسبه ی میانگین وزنی عکس فاصله ی همه کلاس‌های پیکسل‌های موجود، در پنجره ی محاسباتی، یک لایه طبقه بندی منفرد ایجاد می‌کند سپس پیکسل مرکزی به کلاسی که بیش‌ترین مقدار T را دارد تخصیص داده می‌شود. مقدار T به صورت زیر محاسبه می‌شود. رابطه (۴):

$$\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s \sum_{l=0}^n \frac{W_{ij}}{D_{ijl}(K)}$$

که در این فرمول:

i = نمایه ردیف در پنجره محاسباتی، j = نمایه ستون در پنجره محاسباتی، s = اندازه پنجره محاسباتی (۳، ۵ یا ۷)، I = نمایه لایه در مجموعه فازی

n = تعداد لایه‌های فازی مورد استفاده، w = ماتریس وزنی برای پنجره محاسباتی، k = مقدار کلاس، $D(K)$ = مقدار ماتریس فاصله برای طبقه K

$T(K)$ = فاصله وزنی برای کلاس K (۲۲).

ارزیابی دقت نقشه‌ها

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است. صحت اطلاعات در واقع، میزان احتمال درستی اطلاعات است (۱۹). برآورد دقت برای درک بهتر نتایج به‌دست آمده، و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری حایز اهمیت است. معمول‌ترین عوامل برآورد دقت شامل دقت کلی و ضریب کاپا هستند (۲۰). دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها بدست می‌آید. اما چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد، در کارهای اجرایی از مقایسه دقت ضریب کاپا استفاده می‌شود که در آن از دو فاکتور درستی مشاهده و توافق مورد انتظار استفاده می‌شود. از نظر تئوری احتمالات دقت کلی نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه بندی باشد. چرا که در این شاخص نقش شانس قابل توجه است. دقت کلی از

اراضی مسکونی با دو روش حداکثر احتمال و فازی تهیه گردید (شکل ۲). در جدول ۱ نیز مساحت هر کلاس کاربری در هر دو روش آورده شده است. همان‌طور که مشخص است در روش فازی به ترتیب کلاس جنگل پهن برگ، باغ و مرکبات، مرتع، زراعت دیم، جنگل سوزنی برگ و مسکونی بیش‌ترین بخش از منطقه را تشکیل می‌دهد و در روش حداکثر احتمال به ترتیب کلاس جنگل پهن برگ، باغ مرکبات، زراعت دیم گندم‌زار، مرتع، جنگل سوزنی برگ و مسکونی بیش‌ترین بخش از منطقه را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی نیز در جدول ۳ آورده شده است که بر این اساس که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپا ۰/۸۷ و صحت کلی ۸۹/۵۲٪ نسبت به روش فازی با ضریب کاپا ۰/۸۶ و صحت کلی ۸۸/۵۷٪ از دقت طبقه‌بندی بیش‌تری برخوردار است. با بررسی صحت تولید کننده که نشان دهنده ی نسبت تعداد نمونه‌های شاهد درست طبقه‌بندی شده ی هر کلاس، نسبت به کل تعداد نمونه‌های شاهد همان کلاس است، متوجه می‌شویم که برای کلاس‌های کاربری در منطقه در روش فازی و حداکثر احتمال برای کلاس جنگل پهن برگ به ترتیب دارای دقت ۸۴/۲۱٪ و ۸۹/۴۷٪ می‌باشد که نشان از برتر بودن روش حداکثر احتمال در این زمینه دارد. برای زراعت دیم، هر دو روش با دقت ۹۴/۱۲٪ و برای کاربری مسکونی هر دو روش با دقت ۹۳/۳۳٪ یک‌سان عمل کرده‌اند. برای کاربری باغ و مرکبات روش فازی با دقت ۷۷/۷۸٪ نسبت به روش حداکثر احتمال با دقت ۸۳/۳۳٪ ضعیف عمل کرده است. برای کاربری مرتع اما روش فازی با دقت ۹۴/۱۲٪ نسبت به روش حداکثر احتمال با دقت ۸۲/۳۵٪ بهتر عمل کرده است. در نهایت برای کاربری جنگل سوزنی برگ، روش حداکثر احتمال با دقت ۹۴/۷۴٪ نسبت به روش فازی با دقت ۸۹/۴۷٪ عملکرد بهتری داشته است. در نهایت با توجه به صحت کلی و ضریب کاپا در هر دو روش متوجه می‌شویم که هر دو روش از دقت طبقه‌بندی بالایی برخوردارند اما روش حداکثر احتمال نسبت به روش فازی از دقت بیش‌تری برخوردار است.

جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل ها طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید (۱۶). رابطه (۵):

$$OA = \frac{1}{n} \sum p_{ii}$$

که در این رابطه OA = دقت کلی، n = تعداد پیکسل های آزمایش، $\sum p_{ii}$ = جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می باشد. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه بندی مدنظر است از شاخص کاپا استفاده می شود. چون شاخص کاپا پیکسل های نادرست طبقه بندی شده را مدنظر قرار می دهد. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۷). رابطه (۶):

$$kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \times 100$$

که در آن P_o = درستی مشاهده و P_c = توافق مورد انتظار. دقت تولید کننده، احتمال این که یک پیکسل در تصویر کلاسه بندی شده، در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال این که یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه بندی شده قرار گیرد، می باشد (۲۳). دقت تولید کننده از فرمول زیر به‌دست می‌آید رابطه (۷):

$$100PA = \frac{ta}{ga} \times$$

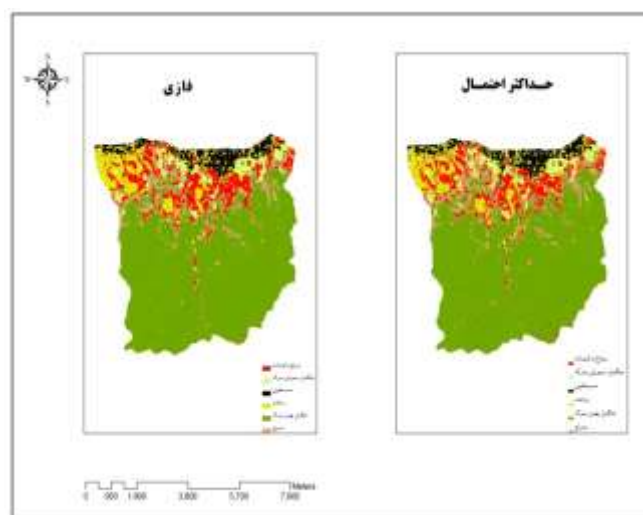
PA = درصد دقت کلاس a برای دقت تولید کننده، ta = تعداد پیکسل های صحیح طبقه بندی شده به عنوان کلاس a ، ga = تعداد پیکسل های کلاس a در واقعیت زمینی (۲۳). دقت کاربر نیز از فرمول زیر به‌دست می‌آید رابطه (۸):

$$100UA = \frac{ta}{n1} \times$$

UA = درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر، ta = تعداد پیکسل های صحیح طبقه بندی شده به عنوان کلاس a ، $n1$ = تعداد پیکسل های کلاس a در نتیجه طبقه بندی (۲۳).

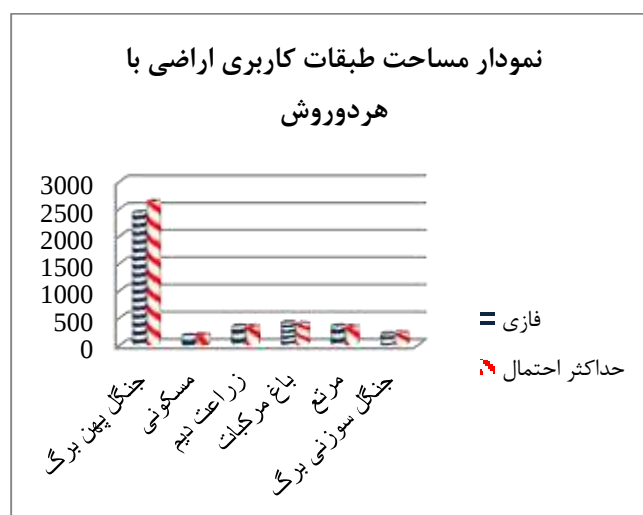
یافته‌ها

نقشه کاربری اراضی منطقه، برای ۶ کلاس کاربری شامل جنگل پهن برگ، جنگل سوزنی برگ، گندم‌زار، مرتع، باغ و مرکبات و



شکل ۲- مساحت طبقات کاربری اراضی با روش های و حداکثر احتمال

Figure 2. Area of land use with two fuzzy and Maximum likelihood classification methods



شکل ۳- نقشه های طبقه بندی شده کاربری اراضی با روش فازی و حداکثر احتمال

Figure 3. Land use map with two fuzzy and Maximum likelihood classification methods

جدول ۱- مساحت های کاربری اراضی در دو روش فازی و حداکثر احتمال

Table 1. Area of land use with two fuzzy and maximum likelihood classification methods

روش حداکثر احتمال		روش فازی		کاربری
درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۶۳/۹۵	۲۶۲۷/۷۴	۶۳/۶۸	۲۶۲۴/۶۷	جنگل پهن برگ
۴/۶۳	۱۹۰/۵۱	۴/۵۸	۱۶۸/۲۸	مسکونی
۸/۲۴	۳۳۸/۷۶	۸/۲۹	۳۴۰/۷۴	زراعت دیم
۹/۵۱	۳۹۰/۸۰	۹/۹۴	۴۰۸/۴۴	باغ مرکبات
۸/۲۱	۳۳۷/۶۰	۸/۳۷	۳۴۳/۹۲	مرتع
۵/۴۳	۲۲۳/۳۴	۴/۹۳	۲۰۲/۶۵	جنگل سوزنی برگ

جدول ۲- نتایج کلی دقت طبقه بندی با روش‌های فازی و حداکثر احتمال

Table 2. General results of Classification accuracy with both fuzzy and maximum likelihood methods

روش طبقه بندی	کاربری	دقت تولید کننده (%)	دقت کاربری (%)	تعداد نقاط شاهد	ضریب کاپا	دقت کلی (%)
فازی	جنگل پهن برگ	۸۴/۲۱	۸۸/۸۹	۱۹	۰/۸۶۲	۸۸/۵۷
	مسکونی	۹۳/۳۳	۱۰۰	۱۵		
	زراعت دیم	۹۴/۱۲	۹۴/۱۲	۱۷		
	باغ مرکبات	۷۷/۷۸	۹۳/۳۳	۱۸		
	مرتع	۹۴/۱۲	۷۶/۱۹	۱۷		
	جنگل سوزنی برگ	۸۹/۴۷	۸۵/۰۰	۱۹		
حداکثر احتمال	جنگل پهن برگ	۸۹/۴۷	۸۰/۹۵	۱۹	۰/۸۷۴	۸۹/۵۲
	مسکونی	۹۳/۳۳	۱۰۰	۱۵		
	زراعت دیم	۹۴/۱۲	۹۴/۱۲	۱۷		
	باغ مرکبات	۸۳/۳۳	۱۰۰	۱۸		
	مرتع	۸۲/۳۵	۷۷/۷۸	۱۷		
	جنگل سوزنی برگ	۹۴/۷۴	۹۰/۰۰	۱۹		

بحث و نتیجه‌گیری

با توسعه تکنیک‌های متعدد در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های با دقت، به ویژه در دهه اخیر، توجه به مقایسه روش‌ها و انتخاب بهترین و صحیح‌ترین روش برای تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در مناطق مختلف، رشد روز افزونی داشته است (۱۷). تاریخ تصویر مورد استفاده در این تحقیق اواخر فصل بهار است چرا که در این موقع از سال در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی به رشد حداکثر خود می‌رسد و امکان تفکیک بهتر کاربری‌ها از یکدیگر به شکل بهتری وجود دارد. همچنین با توجه به هدف اصلی تحقیق که بررسی مقایسه دقت روش‌های فازی و حداکثر احتمال در فرایند تهیه نقشه کاربری اراضی بود، حوزه شهری بهشهر که از تنوع کاربری مناسبی برخوردار است، انتخاب شد تا قابلیت هر دو روش به خوبی روشن شود چرا که کم بودن تعداد کلاس‌های کاربری، می‌توانست درصد اطمینان از قابلیت روش‌ها را در فرایند ارزیابی دقت پایین بیاورد. برداشت نمونه‌های تعلیمی و شاهد از منطقه به منظور تهیه نقشه و همچنین ارزیابی دقت نقشه‌های تولیدی،

از نقاط قوت این تحقیق محسوب می‌شود، چرا که در صورت مغایرت تاریخ اخذ تصویر با تاریخ برداشت نمونه‌های تعلیمی و شاهد، احتمال بروز خطا در فرایند تولید و ارزیابی دقت نقشه افزایش می‌یابد (۷). در مجموع در این تحقیق ۱۰۵ نمونه شاهد برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی استفاده شد که برای جلوگیری از بروز خطا در مقایسه دقت دو روش، از تعداد نمونه‌های شاهد یکسان برای هر دو روش استفاده شد. برای کاربری باغ ۱۸ نمونه شاهد برای ارزیابی دقت استفاده شد که از این تعداد در روش فازی ۱۴ نمونه به باغ، ۲ نمونه به مرتع و دو نمونه به سوزنی برگان اختصاص یافته است اما در روش حداکثر احتمال ۲ نمونه به مرتع، یک نمونه به سوزنی برگان و ۱۵ مورد درست طبقه‌بندی شده است به عبارتی دیگر تفکیک باغات از دیگر کاربری‌ها در روش حداکثر احتمال اندکی بهتر صورت گرفته است. برای سوزنی برگان ۱۹ نمونه شاهد استفاده شد که در روش فازی ۱۷ مورد به درستی جزو طبقه سوزنی برگان قرار گرفته و یک مورد به مرتع و یک مورد به پهن برگان به اشتباه طبقه بندی شده

داد که در بیش تر مواد نمونه های اشتباهی عمدتاً جزو طبقه مرتع قرار گرفته است که علت آن تشابه بازتاب طیفی این کاربری با دیگر کاربری ها است. پیشنهاد می شود برای بالا بردن دقت طبقه بندی و تهیه نقشه دقیق تر و تفکیک هر چه بهتر کاربری مرتع از دیگر کاربری ها از لایه های جانبی نظیر NDVI، شیب، ارتفاع و ... استفاده گردد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، واحد ارزیابی و همچنین از جناب آقای مهندس حمید توکل و آقای مهندس علی جعفری که در طول انجام این تحقیق ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می کنیم.

References

1. Khosrovani, Z., Khajeddin, S.J., Safyanian, A., Mohebbi, M., Parsamahr, A. 2012. Landslide Land Use Using IRS-P6 Satellite, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, Year 16, Number 59, P 233-244. (In Persian)
2. Ghorbani, M., Nazari-Samani, A.A., Kohanbani, H.R., Akbari, F., Jalili-Parvaneh, Z. 2010. Evaluation of land use change trend in Taleghan watershed, The 4th International Congress of Geographers of the Islamic World. (In Persian)
3. Taghizadeh- Ghalejoghi, S., Masomi, M. 2012. Study of land use changes in Naghade County using remote sensing and geographic information system (RS & GIS), Sepehr Journal, Volume 21, Issue 84, P 59-65. (In Persian)
4. Sarmad Dashti, Latif., Nur Alyaa Binti, Hazrin., Chai Hoon, Koo., Jing Lin, Ng., Barkha, Chaplot., Yuk Feng, Huang., Ahmed, El-Shafie., Ali Najah, Ahmed. 2023. Assessing rainfall prediction models: Exploring the advantages of machine learning and remote sensing

است. در روش حداکثر احتمال ۱۸ نمونه به درستی طبقه بندی شده و تنها یک نمونه به اشتباه جزو پهن برگان طبقه بندی شده است. برای تفکیک اراضی شهری از دیگر کاربری ها در هر دو روش ۱۴ نمونه درست و یک نمونه به اشتباه جزو طبقه گندمزار قرار گرفته است. این امر به علت تشابه طیفی دو کاربری در برخی از قسمت های منطقه است که اراضی گندمزار در حاشیه اراضی شهری ایجاد شده است. برای ارزیابی دقت تفکیک اراضی گندمزار نیز در مجموع ۱۷ نمونه شاهد استفاده شده است که در هر دو روش ۱۶ مورد درست و یک نمونه به اشتباه به سوزنی برگان اختصاص یافته است. برای اراضی جنگلی پهن برگ اما از ۱۹ نمونه شاهد در روش فازی ۱۶ و در روش حداکثر احتمال ۱۷ نمونه درست طبقه بندی شده است و موارد باقی مانده به مرتع اختصاص یافته است. برای کاربری مرتع نیز از مجموع ۱۷ نمونه شاهد، در روش فازی ۱۶ نمونه و در روش حداکثر احتمال ۱۴ نمونه به درستی طبقه بندی شده است و بقیه به اشتباه به اراضی پهن برگ اختصاص یافته است. در مجموع برای تفکیک اراضی باغات و سوزنی برگان روش حداکثر احتمال و برای تفکیک اراضی مرتعی روش فازی بهتر عمل کرده است و برای اراضی شهری و گندمزار هر دو روش یکسان عملکرد دارند. همچنین در مجموع دقت طبقه بندی روش حداکثر احتمال نسبت به روش فازی بیشتری به دست آمد که این امر مشابه تحقیقات (۱۰، ۱۲) می باشد. هر چند که با توجه به تحقیقات مائر (۲۶) نتایج پژوهش حاضر از لحاظ آماری، دقت و صحت طبقه بندی برای هر دو روش قابل قبول است که علت بالا بودن دقت طبقه بندی در هر دو روش بروز بودن اطلاعات منطقه برای تصویر مورد نظر، پیش پردازش تصویر و امکان دسترسی مستقیم به کاربری فعلی اراضی در منطقه برای انتخاب نمونه های تعلیمی طبیعی بود. علاوه بر این دقت به دست آمده نشان از قابلیت بالای تصاویر لندست برای تهیه نقشه کاربری اراضی با دقت قابل قبول دارد که این امر با نتایج تحقیقات (۶، ۸) مطابقت دارد. همچنین در این تحقیق علاوه بر محاسبه صحت کلی و ضریب کاپا، پارامترهای دقت کاربر و دقت تولید کننده به تفکیک، برای هر کلاس از کاربری به دست آمد تا میزان خطا در هر یک از کلاس های طبقه بندی شده مشخص شود که نتایج بررسی میزان تفکیک هر کاربری نشان

- Analysis, Human and Environment, No. 60, pp. 93-104 (In Persian).
11. Salimi, Kh., Ahmadi Sani, N., Jalilnejad, N. 2019. Mapping Soil Salinity Using Remote Sensing Technology (Case Study: South Lands of West Azarbaijan province), Danesh Water and Soil Science, Vol. 29, pp. 115 – 128. (In Persian).
 12. Moghani Rahimi, F., Mazidi, A., Ghafarian Malamiri, H.M. 2022. An investigation of urban development and land cover changes in abarkoh city combining bands from landsat 7 and 8 satellite images, geographical Data (sepehr), vo.31, N0.121, pp.127-141 (In Persian)
 13. Zhao, Y., Duole, F., Le, Y., Xiaoyi, W., Yanlei, C., Yuqi, B., Hernández, J., Galleguillos, M., Estados, C., Biging, G., Radke, J., Peng, G., 2016, Detailed dynamic land cover mapping of Chile: Accuracy improvement by integrating multi-temporal data, Remote Sensing of Environment, Remote Sensing of Environment 183 (2016), Pp 170–185.
 14. Aghaloo, K., Ali, T., Chiu, Y., Sharifi, A, 2023. Optimal site selection for the solar-wind hybrid renewable energy systems in Bangladesh using an integrated GIS-based BWM-fuzzy logic method, Energy Conversion and Management, Vol. 283.
 15. Department of Natural Resources and Watershed of Mazandaran Province, Department of Engineering and Studies, Spring Access Date 2016. (In Persian)
 16. Waseem, M., Paul, H., Jeffrey, G., Boshra, H., Salem, B., 2015. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. Applied Geography, 63 (2015), Pp 101-112.
 - approaches. Alexandria Engineering Journal, vol.82, pp.16-25.
 5. Kate Altemus, Cullen., 2023. A review of applications of remote sensing for drought studies in the Andes region. Journal of Hydrology: Regional Studies. Vol.49, pp101483.
 6. Ghorbani, R., Taghipor, A.A., Mahmoodzadeh, H. 2012. Evaluation and analysis of land use changes in the area of the international wetlands Alla Gol, Alma Gholagh AJ Gol Turkmen Sahra using multi-temporal satellite imagery, Geography and Environmental Planning, Year 23, Series 48, Number 4. P 168-186. (In Persian)
 7. Mazaheri. M.R., Esfandiyari, M., Masihabadi, M.H., Kamali, A. 2014. Monitoring of Land Use Time Changes Using Remote Sensing Techniques and Geographic Information Systems (Case Study: Jiroft, Kerman Province). Remote Sensing Application and GIS in Natural Resources Science, 4 (2): p 25-39. (In Persian)
 8. Uosefi, S., Tazeh, M., Mirzai, S., Moradi, H.R., Tavangar, SH. 2011. Comparison of Different Satellite Image Categorization Algorithms in Land Use Mapping (Case Study: Noor City). Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Science, No. 2, P 15-25. (In Persian)
 9. Alikhah-Asl, M., Forotan, E. 2013. Using Fuzzy Classification Method for Land Use Mapping (Case Study: Hablehrood Watershed Basin). Human and Environment Quarterly, No. 24, Spring 2013. (In Persian)
 10. Alikhah-Asl, M., Naseri, D. 2022. Preparing Ghoorichay Catchment Land Cover Map Using Satellite Image

20. Yuan, F.K.E., Sawaya, B.C., Loeffelholz, M. E., 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin (Minnesota) Metropolitan Area by multi temporal Landsat remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 95: 317-328.
21. Alavipanah, S.K., Valdani, M. 2010. *Remote Sensing and GIS*, Tehran University Press, Iran, 149-153 (In Persian).
22. ERDAS. 2007, *Erdas Field Guide*, Volume Tow, pp.138-139.
23. Xiao, T.Y., Huiping, L.X., 2015. Land cover changed object detection in remote sensing data with medium spatial resolution. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 38, (2015), Pp 129–137.
24. Mathers, P. 2005, *Computer Processing of Remotely- Sensed Images*. John Wiley & Sons, 345 pp.
17. Aslami, F., Ghorbani, A., Sobhani, B., Panahandeh, M. 2015. Comparison of artificial neural network, supporting and object-oriented vector machines in land use and land cover from Landsat 8, *Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Science*, 6 (3): P 1-14. (In Persian)
18. Kun, J., Shunlin, L., Ning, Zh., Xiangqin, W., Xingfa, G., Xiang, Zh., Yunjun, Y., Xianhong, X. ,2014. Land cover classification of finer resolution remote sensing data integrating temporal features from time series coarser resolution data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93 (2014), Pp 49–55.
19. Tolaii, S and Haji-Norozi, N. 2006. Preparing the mapping of Pakdasht lands using RS and GIS, *Geospatial Journal*, vol. 5, p. 6 and 7: pp. 27-40 (In Persian).