

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۴، پاییز ۱۳۹۱

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۷/۲۰

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۳/۱۳

صفحات: ۱۷ - ۲۶

ارزیابی کارایی روش طبقه‌بندی درختی جهت استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوزه‌ی چم‌گردلان استان ایلام

دکتر صالح آرخی^۱

چکیده

یکی از کاربردهای عمده‌ی داده‌های ماهواره‌ای طبقه‌بندی پوشش سطح زمین می‌باشد. طی سال‌های گذشته تعدادی الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای طبقه‌بندی داده‌های سنجنش از دور ابداع شده‌اند. قابل توجه‌ترین آنها شامل روش‌های حداکثر احتمال، روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و طبقه‌بندی‌های درختی می‌باشد. در این مطالعه، ابتدا تصحیحات هندسی و رادیومتری بر روی داده‌های ETM⁺ صورت گرفت. سپس با بازدیدهای میدانی، طبقات مختلف کاربری اراضی تعریف و نمونه‌های آموزشی انتخاب گردید. در این مطالعه، هدف اصلی مقایسه سه الگوریتم انشعاب روش طبقه‌بندی درختی برای طبقه‌بندی پوشش سطح زمین حوزه چم‌گردلان استان ایلام می‌باشد. در ضمن، کارکرد این روش با دو روش طبقه‌بندی دیگر، شامل حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی آرت‌مپ فازی مقایسه شده است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده نشان داد که روش طبقه‌بندی درختی با دقت کل ۸۷ و ضریب کاپای ۰/۸۴ دارای بیشترین صحت و پس از آن روش‌های شبکه عصبی مصنوعی آرت‌مپ فازی و حداکثر احتمال به ترتیب با دقت کل ۸۴ و ۸۱ و ضریب کاپای ۰/۸۱ و ۰/۷۸ در رتبه‌های بعدی از نظر دقت قرار می‌گیرند. علاوه، زمانی که روش‌های مختلف انشعاب مورد آنالیز قرار گرفت، مشخص گردید که روش انشعاب جینی نسبت به روش‌های انشعاب بهره و آنتروپی دقت بالاتری (با دقت کل ۶٪ و ۲٪ و ضریب کاپای ۷٪ و ۲٪ بیشتر) داشت.

در این تحقیق، بالاترین دقت طبقه‌بندی مربوط به طبقه‌بندی درختی با روش انشعاب جینی بود. بنابراین، این مطالعه نشان می‌دهد که روش‌های طبقه‌بندی درختی مزیت‌های زیادی نسبت به روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی آرت‌مپ فازی و حداکثر احتمال دارد و آن اینکه آنها از لحاظ محاسباتی سریع بوده و تابع فرضیات آماری در ارتباط با توزیع داده‌ها نمی‌باشند. کلید واژگان: کاربری اراضی، روش حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی آرت‌مپ فازی، طبقه‌بندی درختی، ETM⁺، حوزه چم‌گردلان، استان ایلام.

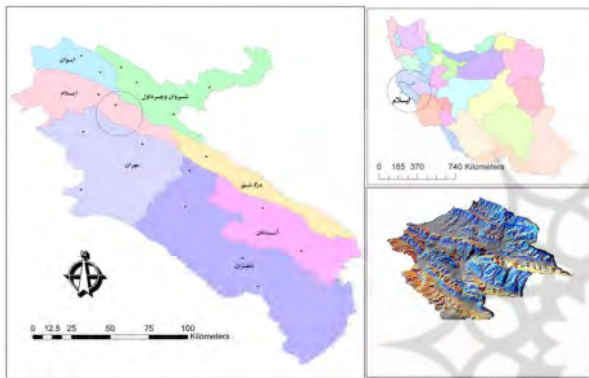
مقدمه

از آنجا که هدف اصلی از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد می‌باشد، انتخاب روش مناسب طبقه‌بندی نقش زیادی در این امر ایفاء می‌کند. انواع مختلف روش‌های طبقه‌بندی در حال حاضر وجود دارند. روش‌های معمول طبقه‌بندی از تکنیک‌های آماری استفاده می‌نمایند که شامل روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله و... می‌باشند که الگوریتم طبقه‌بندی پارامتریک را به کار می‌برند. روش‌های طبقه‌بندی آماری بستگی به مدل داده‌ها (مثل توزیع نرمال) دارند و بنابراین کارآمدی این روش‌ها بستگی به میزان تطبیق داده‌ها با این مدل‌ها دارند. اگر توزیع داده‌های ورودی تقریباً نرمال باشد، کارایی این روش‌های طبقه‌بندی آماری می‌تواند خوب باشد. علیرغم محدودیت‌های این روش که ناشی از فرض توزیع نرمال امضاء کلاس است (Swain and Davis, 1978) شاید یکی از پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی باشد (Wang, 1990: 194-201; Hannso et al, 1996: 1075-1081).

علت غالبیت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، توانایی آنها در کار با هر نوع داده عددی و رها بودن از فرضیات توزیعی می‌باشد. اگرچه روش‌های شبکه‌ی عصبی ممکن است حداقل به دقت الگوریتم‌های آماری همچون حداکثر احتمال و... جهت طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گیرند، اما تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که استفاده‌کنندگان از روش‌های طبقه‌بندی عصبی مشکلاتی در زمینه‌ی انتخاب پارامترهای گوناگون در طول اجرای یادگیری دارند (Wilkinson, 1997: 3-13). انتخاب معماری شبکه، اندازه نمونه برای آموزش، یادگیری الگوریتم‌ها و تعداد تکرارهای مورد نیاز برای آموزش برخی از این مشکلات این روش می‌باشند (Vapnik, 1995). الگوریتم مورد بررسی واقع شده در این مطالعه، شبکه‌ی عصبی

مصنوعی آرتمپ فازی^۱ می‌باشد. روش‌های طبقه‌بندی درختی^۲، برخلاف سایر رویکردهای طبقه‌بندی (برای مثال روش حداکثر احتمال و... یا روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی) که از یکسری مشخصه‌ها (باندها) به طور همزمان جهت اجرای طبقه‌بندی در تک مرحله استفاده می‌نماید، طبقه‌بندی درختی براساس یک طرح تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای یا سلسله‌ای می‌باشد (Xu et al, 2005: 322-336). این روش به طور موفقیت‌آمیزی برای طیف وسیعی از مشکلات منجمله طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور به کار رفته است (Yang et al, 2003: 1101-1117; Xu et al :383-394) (Chubey et al, 2006: 322-336). روش‌های طبقه‌بندی درختی مزیت‌های برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور به خاطر انعطاف‌پذیری، ماهیت غیر پارامتریکی و توانایی اجرای روابط غیر پارامتریکی بین عوارض و کلاس‌ها دارند. از طرف دیگر، همانند هر الگوریتم طبقه‌بندی دیگر یا سایر طبقه‌بندی‌ها، دقت یک طبقه‌بندی انجام شده به وسیله‌ی روش‌های طبقه‌بندی درختی بستگی به فاکتورهای از قبیل اندازه و ترکیب داده‌های تعلیمی، روش انتخاب مشخصه، انتخاب روش هرس کردن و نوع روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری دارد که از جمله معایب آن محسوب می‌شود. درخت تصمیم‌گیری تک‌عامله که شامل مدل C4.5 می‌باشد (Quinlan, 1993)، در این مطالعه مورد بررسی واقع شده است. در زمینه‌ی طبقه‌بندی پوشش گیاهی و کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور مقالات متعددی وجود دارد. اولین طبقه‌بندی پوشش سطح زمین در مقیاس جهانی با روش حداکثر احتمال توسط دفریس و توانشید (1994) و تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش سطح زمین با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر با استفاده از رویکرد طبقه‌بندی نظارت نشده توسط لولند و همکاران (۲۰۰۰) انجام

جنوب‌شرقی استان ایلام است. مساحت این حوزه ۴۷۶۷۵ هکتار می‌باشد که از لحاظ موقعیت جغرافیایی، بین طول‌های شمالی $33^{\circ} 23' 32''$ تا $33^{\circ} 38' 51''$ و عرض‌های شرقی $46^{\circ} 20' 30''$ تا $46^{\circ} 39' 33''$ واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ شرایط اقلیمی، این منطقه جزو مناطق نیمه خشک با متوسط بارندگی ۵۹۲/۷۸ میلیمتر در سال می‌باشد (شرکت نواندیشان توسعه پایدار، ۱۳۸۱).



شکل ۱: موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه
مأخذ: نگارنده

روش تحقیق

تصحیح هندسی

در این تحقیق، تصویر ماهواره‌ای ETM^+ لندست (۲۰۰۲) منطقه برای تعیین کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. این تصویر با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری ENVI 4.5 و به کار بردن تبدیل چندجمله‌ای، سیستم تصویر UTM گرفت. مختصات نقاط کنترل زمینی از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نقاط مرجع زمینی با استفاده از GPS به دست آمدند. این تصویر با توزیع مناسب نقاط کنترلی و میزان خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) حدود ۰/۵ پیکسل ثبت شد. در پایان، روش نمونه‌گیری مجدد نزدیکترین همسایه برای تعیین مقادیر جدید پیکسل به کار رفت و بالاخره روش‌های طبقه‌بندی زیر برای طبقه‌بندی

گرفته است (Loveland et al, 2000: 1303-1330). به خاطر محدودیت‌های این روش‌ها، در سال‌های اخیر، رویکردهای طبقه‌بندی درختی و شبکه عصبی که خصوصیات غیرخطی و غیر پارامتریکی دارند، در سطح منطقه‌ای و جهانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هانسن و همکاران (۱۹۹۶) از داده‌های NOAA/AVHR برای تهیه نقشه‌ی پوشش سطح زمین در مقیاس جهانی و با قدرت تفکیک مکانی $1^{\circ} * 1^{\circ}$ و روش‌های حداکثر احتمال و طبقه‌بندی درختی استفاده کرده‌اند.

در این بررسی دقت روش طبقه‌بندی درختی نسبت به حداکثر احتمال بهتر گزارش شده است (Hanson et al, 1996: 1075-1081). شبکه‌ی عصبی BP روش دیگری می‌باشد که به طور گسترده در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور مورد بررسی واقع شده است. در شناسایی محدوده‌ی گسترش گندم، مورتی و همکاران (۲۰۰۳) از این روش استفاده کردند که کارآمدی بهتری نسبت به روش حداکثر احتمال نشان داد (Murthy et al, 2003: 4871-4890). برای غلبه به مشکل ساختار BP، روش آرتمپ فازی توسعه یافت که این روش می‌تواند منطق فازی و تئوری تشدید انطباقی را با هم تلفیق کند. گوپال و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از رویکرد آرتمپ فازی پوشش سطح زمین را در مقیاس جهانی تهیه نموده‌اند (Gopal et al, 1999: 230-243).

این مطالعه جهت ارزیابی کارایی روش طبقه‌بندی درختی با استفاده از داده‌های لندست ETM^+ صورت گرفته است. در ضمن، کارکرد این روش با روش‌های حداکثر احتمال و شبکه‌ی عصبی مصنوعی آرتمپ فازی مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، یک حوزه‌ی کوهستانی به نام حوزه‌ی چم‌گردلان ایلام، واقع در

(۳)

$$\text{split inf } o(X) = -\sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{S} \times \log_2 \left(\frac{|S_i|}{|S|} \right)$$

اطلاعات انشعاب^۵ ارائه‌کننده اطلاعات بالقوه تولید شده از طریق تقسیم گروه S به n زیر گروه است

روش انشعاب جینی^۶:

روش انشعاب جینی سعی می‌کند همگن‌ترین دسته را در میان سری داده‌ها پیدا کند و آن را از بقیه داده‌ها جدا کند (Zambon et al, 2006: 25-30).

(۴)

$$\text{Gini}(S) = \sum_i \text{freq}(C_j, S) \times (1 - \text{freq}(C_j, S))$$

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

برآورد دقت برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری حائز اهمیت است. معمول‌ترین پارامترهای برآورد دقت شامل، دقت کل^۷، دقت تولیدکننده^۸، دقت کاربر^۹ و ضریب کاپا^{۱۰} هستند (Lu et al, 2004: 2365-2407، علوی‌پناه، ۱۳۸۴: ۴۷۸، بنیاد و حاجی‌قادر، ۱۳۸۶: ۶۳۸-۶۲۷).

نتایج

جهت طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای ETM⁺، کلاس‌های کاربری اراضی در شش گروه تحت عنوان کلاس اراضی کشاورزی، مرتع، جنگل، اراضی بایر، باغ و دریاچه تعیین و سپس نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و بازدید میدانی جمع‌آوری شد. در مرحله‌ی بعد با استفاده از ویژگی‌های تصاویر، کلاس‌های پوشش اراضی در محدوده‌ی مورد مطالعه وارد شد و تفکیک‌پذیری کلاس‌ها با استفاده از روش جفریس ماتوسیتا^{۱۱} محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است.

تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ لندست مورد استفاده قرار گرفت. سه روش طبقه‌بندی که برای این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از: روش حداکثر احتمال، روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و نهایتاً روش طبقه‌بندی درختی.

معرفی روش طبقه‌بندی درختی

طبقه‌بندی درختی با تفکیک بطور متوالی داده‌ها در هر میانگه به میانگه‌های جدید حاوی زیر مجموعه‌های همگن‌تر پیکسل‌های تعلیمی پیش می‌رود. یک میانگه جدیداً ایجاد شده ممکن است در حالتی که پیکسل‌های تعلیمی حاوی تنها یک کلاس است یا غالبیت پیکسل‌ها با یک کلاس است، ایجاد یک برگ نماید. زمانی که دیگر میانگه‌های برای انشعاب (تفکیک)^۱ وجود ندارد، قواعد نهایی طبقه‌بندی درختی شکل می‌گیرد. نرم‌افزار ادیسی سه الگوریتم انشعاب را به کار می‌برد: آنتروپی، نسبت بهره و جینی.

روش انشعاب آنتروپی^۲: رابطه آن به شرح زیر است:

$$\text{Entropy} = -\sum_{j=1}^k \frac{\text{freq}(C_j, S)}{|S|} \times \log_2 \left(\frac{\text{freq}(C_j, S)}{|S|} \right)$$

(۲)

که در این رابطه:

|S|: تعداد پیکسل‌ها در گروه S

C_j: تعداد پیکسل‌های کلاس j در گروه S

روش انشعاب نسبت بهره^۳:

الگوریتم نسبت بهره سعی می‌کند از طریق فرایند نرمالسازی به انحراف (بیش انشعاب)^۴ بالقوه الگوریتم آنتروپی غلبه کند. اگر ما اطلاعات انشعاب (X) را به صورت ذیل تعریف کنیم (Zambon et al, 2006: 25-30)

5-Splitinfo

6-Gini

8-Overall accuracy

6-Producer's accuracy

9-User's accuracy

10-Kappa coefficient

11-Jefferies-Matusita

1-Splitting

2-Entropy

3-Gain ratio

4-Oversplitting

جدول ۱: میزان تفکیک‌پذیری برای کلاس‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصویر ETM⁺

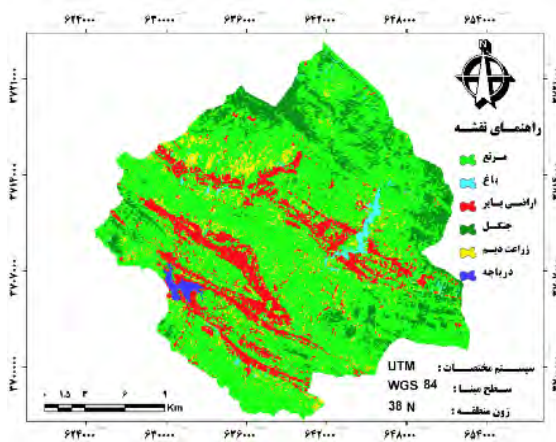
عنوان ۱	عنوان ۲	میزان تفکیک‌پذیری
دریاچه	باغ	۲
	اراضی زراعی	۲
	مرتع	۲
	جنگل	۲
	اراضی بایر	۲
باغ	دریاچه	۲
	اراضی زراعی	۱/۸۰
	مرتع	۱/۹۳
	جنگل	۱/۹۲
	اراضی بایر	۲
اراضی زراعی	دریاچه	۲
	باغ	۱/۹۴
	مرتع	۱/۸۰
	جنگل	۱/۹۶
	اراضی بایر	۲
مرتع	دریاچه	۲
	باغ	۱/۹۳
	اراضی زراعی	۱/۸۰
	جنگل	۱/۸۶
	اراضی بایر	۲
جنگل	دریاچه	۲
	باغ	۱/۹۲
	اراضی زراعی	۱/۹۶
	مرتع	۱/۸۶
	اراضی بایر	۲
اراضی بایر	دریاچه	۲
	باغ	۲
	اراضی زراعی	۲
	مرتع	۲
	جنگل	۲

مأخذ: نگارنده

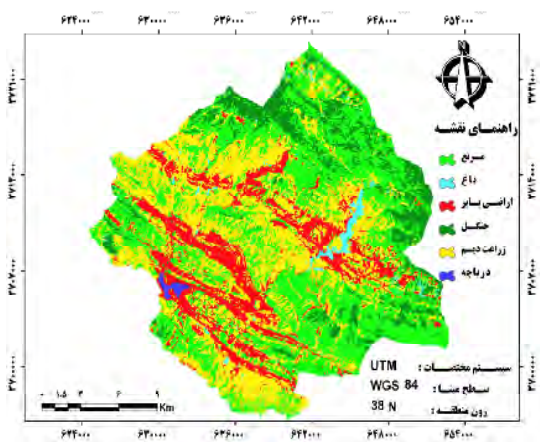
با دقت متوسط استفاده‌کننده بالای ۷۸٪ طبقه‌بندی شده است و این نشان از توانایی بالای این الگوریتم طبقه‌بندی می‌باشد.

نتایج طبقه‌بندی با استفاده از روش‌ها حداکثر احتمال، شبکه عصبی آرتمپ فازی و طبقه‌بندی درختی در جدول ۴ ارائه شده است. طبق جدول ۴، روش طبقه‌بندی درختی با سه روش انشعاب (نسبت بهره، آنتروپی و جینی) به ترتیب دقت کل متوسط ۸۷ و ضریب کاپای ۰/۸۴ را ایجاد نموده در حالی که روش‌های شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و حداکثر احتمال به ترتیب با دقت کل ۸۴، ۸۱ و ضریب کاپای ۰/۸۱ و ۰/۷۸ ایجاد نموده است. از این رو، روش‌های انشعاب طبقه‌بندی درختی (با دقت کل متوسط ۳٪ و ضریب کاپای ۳٪ نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و با دقت کل متوسط ۶٪ و ضریب کاپای ۶٪ نسبت به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای سری داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از دقت بالاتری برخوردار بوده است. در ضمن کارآمدی طبقه‌بندی درختی با روش انشعاب نسبت بهره تقریباً قابل مقایسه با روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی آرتمپ فازی می‌باشد و این نشان‌دهنده‌ی کارآمدی بالای شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی می‌باشد. نهایتاً می‌توان گفت که از بین سه روش انشعاب به کار گرفته شده در این مطالعه، روش انشعاب جینی به ترتیب با دقت کل ۶٪ و ۲٪ و ضریب کاپای ۷٪ و ۲٪ بالاتر نسبت به روش نسبت بهره و آنتروپی عملکرد بهتری داشته است.

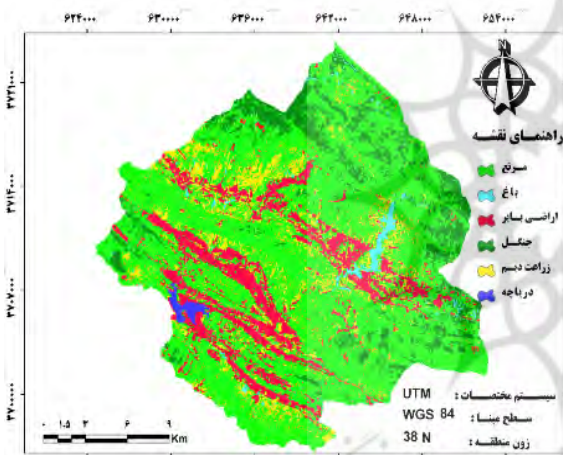
پس از مشخص نمودن میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها، نسبت به طبقه‌بندی به سه روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و طبقه‌بندی درختی اقدام شد. بدین ترتیب نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال ۲۰۰۲ به دست آمد (اشکال ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). در مرحله‌ی بعدی با انجام عملیات میدانی، استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نمونه‌برداری تصادفی از سطح منطقه مورد مطالعه، پارامترهای آماری دقت تولیدکننده، دقت استفاده‌کننده، دقت کل و ضریب کاپا به شرح جداول ۲، ۳ و ۴ استخراج گردید. زمانی که نتایج جداول ۲ و ۳ آنالیز می‌شود، چندین نتیجه مهم گرفته می‌شود: اولاً، مشاهده شد که کلاس آب با دقت تولیدکننده ۱۰۰٪ طبقه‌بندی شده است (با هر سه روش). این نشان‌دهنده‌ی قابلیت تفکیک طیفی بالا برای این کلاس است. ثانیاً، طبق نتایج مشاهده شد که پایین‌ترین دقت تولیدکننده در مورد کلاس زراعت دیم بوده است. این کلاس با دقت تولیدکننده ۳۲٪ برای تصویر این منطقه طبقه‌بندی شده است (در حالت استفاده از روش حداکثر احتمال). در حالی که روش طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی آرتمپ فازی (۴۷٪) و روش‌های انشعاب طبقه‌بندی درختی (۵۵٪ بجز ۴۱٪ برای روش انشعاب آنتروپی) دقت تولیدکننده‌ی بهتری را برای این کلاس نشان دادند. در ضمن مشاهده شد که پایین‌ترین دقت استفاده‌کننده در مورد کلاس مرتع بوده است. این کلاس با دقت استفاده‌کننده ۵۰٪ برای تصویر این منطقه طبقه‌بندی شده است (در حالت استفاده از روش حداکثر احتمال). دلیل این امر می‌تواند پیچیدگی یا نزدیکی مرزهای حاصل از مشابهت طیفی بالا با سایر کلاس‌ها و پیکسل‌های آمیخته در نمونه‌های تعلیمی و آزمایشی باشد. آنالیز تفصیلی ماتریس‌های مجاور نشان می‌دهد که کلاس زراعت با کلاس مرتع آمیخته شده است. در ضمن هر دو کلاس ذکرشده در بالا در روش طبقه‌بندی درختی



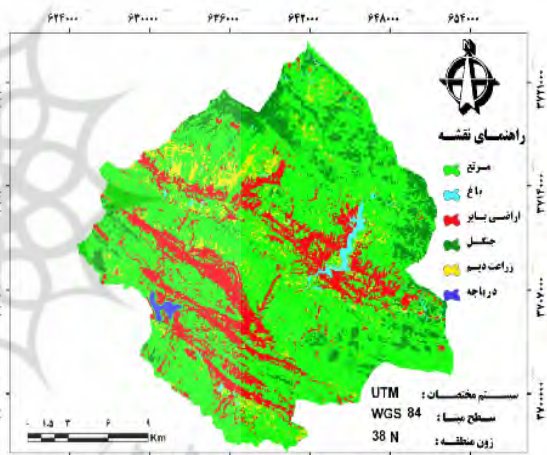
شکل ۳: طبقه‌بندی با استفاده از روش آرتمپ فازی
مأخذ: نگارنده



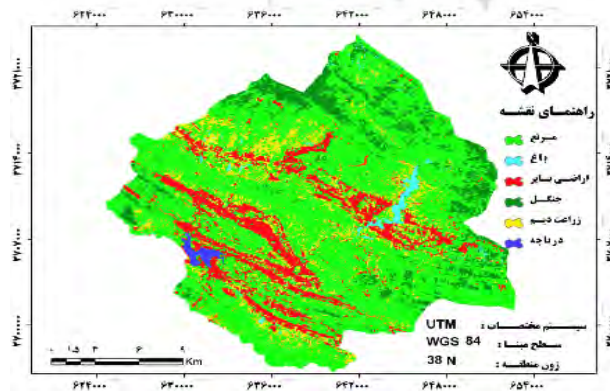
شکل ۲: طبقه‌بندی با استفاده از روش حداکثر احتمال
مأخذ: نگارنده



شکل ۵: طبقه‌بندی با استفاده از روش طبقه‌بندی درختی
(روش انشعاب آنتروپی) مأخذ: نگارنده



شکل ۴: طبقه‌بندی با استفاده از روش طبقه‌بندی درختی
(روش انشعاب نسبت بهره) مأخذ: نگارنده



شکل ۶: طبقه‌بندی با استفاده از روش طبقه‌بندی درختی
(روش انشعاب جینی) مأخذ: نگارنده

جدول ۲: مشخصات آماری دقت تولیدکننده برای طبقه‌بندی تصویر ETM⁺ با استفاده از سه روش مورد مطالعه

کلاس‌ها	روش حداکثر احتمال	روش شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی	روش طبقه‌بندی درختی (نسبت بهره)	روش طبقه‌بندی درختی (آنتروپی)	روش طبقه‌بندی درختی (جینی)
مرتع	۸۵/۸۱	۶۵/۸۶	۶۳/۷۱	۶۹/۳۰	۷۲/۲۸
باغ	۹۸/۲۶	۹۷/۹۳	۹۸/۱۵	۹۴/۷۱	۱۰۰
اراضی‌بایر	۸۱/۶۴	۱۰۰	۹۱/۹۹	۱۰۰	۱۰۰
جنگل	۹۵/۲۳	۹۸/۳۵	۹۵/۱۷	۹۳/۶۵	۹۵/۱۷
زراعت دیم	۳۲/۳۶	۴۶/۹۷	۵۴/۵۴	۴۱/۴۸	۵۵/۴۲
دریاچه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

مأخذ: نگارنده

جدول ۳: مشخصات آماری دقت استفاده‌کننده برای طبقه‌بندی تصویر ETM⁺ با استفاده از سه روش مورد مطالعه

کلاس‌ها	روش حداکثر احتمال	روش شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی	روش طبقه‌بندی درختی (نسبت بهره)	روش طبقه‌بندی درختی (آنتروپی)	روش طبقه‌بندی درختی (جینی)
مرتع	۵۰/۲۰	۸۱/۳۹	۸۴/۷۵	۷۹/۳۸	۸۶/۴۹
باغ	۱۰۰	۸۱/۱۲	۹۳/۰۱	۹۴/۷۱	۹۶/۴۹
اراضی‌بایر	۹۳/۴۳	۸۰/۶۰	۸۶/۲۳	۸۱/۷۶	۸۶/۴۷
جنگل	۹۶/۷۷	۹۵/۲۰	۹۵/۱۷	۹۵/۱۶	۹۵/۱۷
زراعت دیم	۱۰۰	۶۵/۳۰	۷۸/۱۷	۸۲/۶۵	۷۵/۳۴
دریاچه	۶۳/۲۲	۱۰۰	۶۹/۴۹	۹۵/۵۱	۹۵/۵۱

مأخذ: نگارنده

جدول ۴: ارزیابی دقت طبقه‌بندی برای نقشه‌های کاربری استخراج‌شده از تصاویر ETM⁺ با استفاده از سه روش مورد مطالعه

روش‌ها یا الگوریتم‌ها	دقت کل	ضریب کاپا
روش حداکثر احتمال	۸۱/۰۹	۰/۷۸
روش شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی	۸۴/۱۴	۰/۸۱
روش طبقه‌بندی درختی - نسبت بهره	۸۳/۸۳	۰/۸۰
روش طبقه‌بندی درختی - آنتروپی	۸۸/۰۷	۰/۸۵
روش طبقه‌بندی درختی - جینی	۹۰/۱۴	۰/۸۷

مأخذ: نگارنده

نتیجه‌گیری

اگرچه گزارش شده است که این روش کم و بیش نتایج طبقه‌بندی دقیق‌تری نسبت به روش‌های معمول ارائه می‌دهد، اما انتخاب بهترین روش انشعاب مبحث مهمی است که کارایی این الگوریتم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه، سه روش انشعاب نسبت بهره، آنتروپی و جینی برای طبقه‌بندی تیپ‌های اصلی کاربری زمین در حوزه‌ی چم‌گردلان ایلام مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه، کارآمدی طبقه‌بندی درختی با روش‌های مختلف انشعاب با روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و حداکثر احتمال مقایسه شد.

نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی درختی نسبت به روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و طبقه‌بندی حداکثر احتمال به ترتیب از لحاظ دقت کل (حدود ۰.۳٪، ۰.۶٪) و ضریب کاپا (حدود ۰.۳٪، ۰.۶٪) برتر بود. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق موافق نتایج به دست آمده توسط یانگ و همکاران (۲۰۰۳)، زو و همکاران (۲۰۰۵) و اتوکی و بلسچک (۲۰۰۹) و برخلاف نتایج به دست آمده توسط بوراک و همکاران (۱۹۹۹) می‌باشد.

همه‌ی روش‌های طبقه‌بندی، تمام پیکسل‌های آب را بدرستی شناسایی کردند. دقت بالای طبقه‌بندی کلاس آب می‌تواند ناشی از خصوصیات طیفی متمایز آن در مقایسه با سایر تیپ‌های پوشش باشد. زمانی که روش‌های مختلف انشعاب مورد آنالیز قرار گرفت، مشخص گردید که روش انشعاب جینی نسبت به روش‌های انشعاب نسبت بهره و آنتروپی نتایج دقیق‌تری (با دقت کل ۰.۶٪ و ۰.۲٪ و ضریب گاپای ۰.۷٪ و ۰.۲٪ بالاتر) داشت. در این تحقیق، بالاترین دقت طبقه‌بندی مربوط به طبقه‌بندی درختی با روش انشعاب جینی می‌باشد. این نتیجه برخلاف نتیجه به‌دست آمده توسط بریمن و همکاران او (۱۹۸۴) بوده

که اظهار داشته تفاوت معنی‌داری بین روش‌های مختلف انشعاب وجود ندارد. این مطالعه نشان می‌دهد که روش‌های طبقه‌بندی درختی مزیت‌های زیادی نسبت به روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی و حداکثر احتمال دارد و آن اینکه آنها از لحاظ محاسباتی سریع بوده (برخلاف روش‌های شبکه عصبی مصنوعی) و تابع فرضیات آماری در ارتباط با توزیع داده‌ها (برخلاف روش حداکثر احتمال) نمی‌باشند. در نتیجه جایگزین مناسبی برای سایر روش‌های طبقه‌بندی می‌باشند.

منابع و مأخذ

- ۱- بنیاد، امیراسلام؛ طه حاجی‌قادری (۱۳۸۶). تهیه نقشه جنگل‌های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۲(۱۱).
- ۲- شرکت نواندیشان توسعه پایدار (۱۳۸۱). مطالعه تفضیلی اجرایی حوزه‌ی آبخیز چم‌گردلان، مدیریت آبخیزداری جهاد کشاورزی استان ایلام.
- ۳- علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۸۴). کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.
- 4- Borak, J S and Strahler, AH (1999). Feature selection and land cover classification of a MODIS-like dataset for a semiarid environment. INT. J. Remote Sensing.
- 5- Breiman, L, Friedman, J. H, Olshen, R. A, and Stone, C.J (1984). Classification and regression trees. Monterey, CA: Wadsworth.
- 6- Chubey, M.S, Franklin, S.E, and Wulder, M.A (2006). Object-based Analysis of Ikonos-2 Imagery for Extraction of Forest Inventory Parameters. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 72 (4).
- 7- Gopal, S, Woodcock, C. E, and Strahler, A. H (1999). Fuzzy Neural Network Classification of

- 14- Swain, P.H, and Davis, S.M.(editors) (1978). Remote Sensing: the Quantitative Approach (New York: McGraw-Hill).
- 15- Vapnik, V. N (1995). The Nature of Statistical Learning Theory (New York:Springer Verlag).
- 16- Wang,F(1990). Fuzzy supervised classification of remote sensing images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28.
- 17- Wilkinson, G. G (1997). Open questions in neurocomputing for earth observation. In Neuro-Computation in Remote Sensing Data Analysis, edited by I. Kanellopoulos, G. G. Wilkinson, F. Roli and J. Austin. London: Springer.
- 18- Xu, M, Watanachaturaporn, P, Varshney,P. K, and Arora,M.K(2005).Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. Remote Sens. Environ, 97.
- 19- Yang,C,Prasher,S.O,Enright, P, Madramootoo, C, Burgess, M, Goel, P. K, and Callum, I (2003).Application of decision tree technology for image classification using remote sensing data. Agricultural Systems 76.
- 20- Zambon, M, Lawrence, R, Bunn, A and Powell, S (2006). Effect of alternative splitting rules on image processing using classification tree analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72 (1).
- Global Land Cover from a 1° AVHRR DataSet. Remote Sensing of Environment,67.
- 8- Hanson, MC,Dubayah, R, and Defries, R S (1996). Classification trees: an alternative to traditional land cover classifiers. INT. J. Remote Sensing.
- 9- Loveland, T. R, Reed, B. C, and Brown, J. F, Ohlen, D.O, Zhu, Z, Yang, L, and Merchant, J. W (2000). Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. International Journal of Remote Sensing. 21.
- 10- Lu, D, Mausel, P, Brondi'zio, E., and Moran, E (2004). Change detection techniques. INT. J. REMOTE SENSING, 20 JUNE, 2004, VOL. 25, NO. 12.
- 11- Murthy, CS, Raju, PV, and Bardrinath, K V S (2003). Classification of wheat crop with multi-temperoral images: performance of maximum likelihood and artificial neural networks. INT. J. Remote Sensing, 24(23).
- 12- Otukei, J. R, and Blaschke, T (2009). Land cover assessment using decision tree, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, JAG.297.
- 13- Quinlan, J. R (1993). C4. 5 Programs for machine Learning (San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers).