

## تهیه نقشه پوشش اراضی شهر اراک با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال

مژگان احمدی ندوشن\* - کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
علیرضا سفیانیان - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
سیدجمال‌الدین خواجه‌الدین - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۱۰/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۵/۲۰

### چکیده

تهیه نقشه پوشش اراضی، برای بسیاری از فعالیت‌های برنامه‌ریزی و مدیریت شهری دارای اهمیت است. در پژوهش حاضر، به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی شهر اراک از داده‌های رقومی سنجنده LISS-III (۱۳۸۵) استفاده شد. ابتدا تصویر با میانگین خطای مربعات ۰/۵۸ پیکسل تصحیح هندسی شد و با توجه به کوهستانی بودن منطقه، تصحیح توپوگرافی نیز بر روی تصویر اعمال گردید. برای طبقه‌بندی تصویر، دو روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه با به کارگیری نقشه شیب و بدون استفاده از آن به کار گرفته شد. در نهایت، نقشه پوشش اراضی منطقه به ۴ طبقه شهری، پوشش گیاهی، بایر و رخنمون سنگی طبقه‌بندی گردید. از نقشه شیب طبقه‌بندی شده منطقه به منظور جداسازی بهتر رخنمون‌های سنگی به عنوان ورودی در شبکه عصبی استفاده شد. برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، نقشه تولیدی با نقشه واقعیت زمینی ایجاد شده از طریق GPS بررسی گردید و صحت کلی طبقه‌بندی برای روش حداکثر احتمال، روش شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب و شبکه عصبی با استفاده از نقشه شیب به ترتیب ۹۲/۶، ۹۲/۷ و ۹۴/۶ درصد برآورد گردید. مطالعه حاضر نشان داد که روش طبقه‌بندی شبکه عصبی، قابلیت تهیه نقشه پوشش اراضی را با صحت بالا دارد.

کلیدواژه‌ها: پوشش اراضی، شبکه عصبی مصنوعی، روش حداکثر احتمال، اراک.

### مقدمه

پوشش اراضی، پویایی و تغییرات آن، متغیرهای مهمی هستند که تأثیراتی جدی بر روی محیط و فرایندهای محیطی می‌گذارند (Foody, 2000, 433). اطلاعات روزآمد و دقیق در مورد پوشش و کاربری اراضی همواره مورد نیاز تصمیم‌گیران و پژوهشگران در تمامی سطوح است. با تحقیق و مشاهدات صحرائی و تفسیر عکس‌های هوایی بزرگ‌مقیاس، می‌توان نقشه پوشش و کاربری اراضی را تولید کرد، ولی هر دو روش مذکور وقت‌گیر و هزینه‌بر است.

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، راه مناسبی برای تهیه نقشه پوشش اراضی و پایش آن - به‌ویژه در مناطق جغرافیایی بزرگ و وسیع - است (Yuan et al., 2005, 5). نقشه پوشش اراضی معمولاً با استفاده از داده‌های سنجش از دور و با به‌کارگیری طبقه‌بندی رقومی، تهیه می‌شود. امروزه، از متداول‌ترین و دقیق‌ترین و روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده برای این منظور، می‌توان به روش‌های آماری نظیر طبقه‌بندی حداکثر احتمال اشاره کرد. اما مشکلاتی از قبیل فرضیات موردنیاز این روش‌ها، منجر به ایجاد روش‌های جدیدتر و استفاده بیشتر از آنها شده است. روش‌های جدید طبقه‌بندی، از جمله شبکه‌های عصبی، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. به‌دلیل ماهیت غیرپارامتریک شبکه‌های عصبی و قابلیت‌شان برای بهره‌گیری از مثال‌ها و توانایی تعمیم آنها، برای طبقه‌بندی نظارت‌شده مناسب قلمداد می‌شوند. علاوه بر این، در بسیاری از مطالعات مقایسه‌ای، شبکه‌های عصبی پوشش اراضی را صحیح‌تر از روش‌های متداول موجود طبقه‌بندی کرده‌اند (Foody, 2000, 434).

علوی‌پناه و همکاران (۱۳۸۰) برای تهیه نقشه کاربری اراضی از منطقه کوهستانی موک استان فارس، از داده‌های رقومی ماهواره لندست TM و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند. آنها از باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده TM و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال در تولید نقشه استفاده کردند و نقشه‌ای شامل ۹ طبقه به‌دست آوردند، که بدین شرح است: زراعت آبی، مرتع، اراضی شخم‌خورده، شالیزار، جنگل، باغ‌ها، تاکستان، زراعت دیم و اراضی زراعی برداشت‌شده. به دلیل پایین بودن دقت طبقه‌بندی برای اراضی مسکونی و رودخانه، از دیگر لایه‌های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی برای تفکیک این دو طبقه استفاده شد. میزان دقت کلی نقشه تولیدشده، ۹۴/۷ درصد برآورد گردید (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۰، ۶۵).

شتایی و عبدی (۱۳۸۶) به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی در حوزه سرخاب خرم‌آباد در استان لرستان، از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> استفاده کردند. پردازش‌های مختلف نظیر ایجاد تصاویر رنگی کاذب، نسبت‌گیری و تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای اصلی با هدف بارزسازی تصویر اعمال گردید. بهترین مجموعه باندی برای طبقه‌بندی‌ها با استفاده از شاخص آماری واگرایی تعیین شد و طبقه‌بندی تصویر به روش نظارت‌شده و با استفاده از الگوریتم‌های حداکثر احتمال، متوازی‌السطوح و حداقل فاصله از میانگین انجام گرفت. نتایج آنها نشان داد که طبقه‌بندی حداکثر احتمال، نتایج بهتری در مقایسه با دو روش طبقه‌بندی دیگر ارائه می‌دهد (شتایی و عبدی، ۱۳۸۶، ۳).

امیری و همکاران (۱۳۸۵) از سه روش فازی، شبکه عصبی و کمترین فاصله برای طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای Quickbird به سه طبقه پوشش گیاهی، منطقه شهری و آب استفاده کردند، و به این نتیجه رسیدند که دقت طبقه‌بندی با روش شبکه عصبی در مقایسه با دو روش دیگر در منطقه مورد مطالعه بیشتر است (امیری و همکاران، ۱۳۸۵، ۱). تاپیادور و کاسانوا، نقشه کاربری اراضی سگویا<sup>۱</sup> در اسپانیا را تهیه کردند. در پژوهش آنها از اطلاعات وکتوری کارتوگرافیک، تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و IRS-ID به همراه مجموعه‌ای از عکس‌های هوایی استفاده شده است. تمامی اطلاعات وارد سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) گردید. روش Data Fusion برای بهبود قدرت تفکیک مکانی

تصاویر، و روش شبکه‌های عصبی برای انجام طبقه‌بندی مناسب مورد استفاده قرار گرفت (Tapiador & Casanova, 2003, 103).

دیکاتور (1989) از شبکه‌های پس‌انتشار<sup>۱</sup> سه‌لایه برای طبقه‌بندی داده‌های رادار (SAR) استفاده کرد. او نتایجش را با طبقه‌بندی حداکثر احتمال مقایسه کرد. لی و همکاران (1990) از شبکه‌های پس‌انتشار چهارلایه و تصاویر لندست MSS برای طبقه‌بندی ابر استفاده کردند. آنها نیز طبقه‌بندی شبکه عصبی را با طبقه‌بندی‌کننده‌های آماری گوناگون مقایسه کردند. بندیسکون و همکاران (1990) مقایسه‌ای تجربی بین روش‌های آماری و شبکه‌های عصبی در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور و جغرافیایی انجام دادند (Bischof et al., 1992, 482). سوگوماران روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر مشابهت را برای طبقه‌بندی پوشش اراضی منطقه جنگلی با استفاده از سنجنده LISS-III ماهواره IRS-1C با یکدیگر مقایسه کرد (Sugumaran, 2001, 39). مس (2003) برای طبقه‌بندی پوشش و کاربری اراضی منطقه تالابی ترمینوس در جنوب شرقی مکزیک، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای<sup>۲</sup> (MLP) و الگوریتم پس‌انتشار را مورد استفاده قرار داد. ورودی‌های شبکه عصبی باندهای طیفی ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره لندست بود و ۶ طبقه پوشش اراضی به عنوان خروجی تهیه شد. صحت طبقه‌بندی ۸۲ درصد گزارش شد (Mas, 2003, 3498-9).

دلفریت و همکاران، روش شبکه عصبی مصنوعی را برای طبقه‌بندی مناطق شهری و آشکارسازی تغییرات آنها به کار بردند. تصاویر ماهواره Quickbird از محوطه دانشگاه تور ورگاتا<sup>۳</sup> در شهر رم در ایتالیا مورد استفاده قرار گرفت و این منطقه شهری به چهار طبقه ساختمان‌ها، جاده‌ها، پوشش گیاهی و خاک لخت طبقه‌بندی شد (Del Frate, 2005, 1). لیزارازو، برای طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه شهری بوگوتا در کلمبیا از ۳ روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری<sup>۴</sup>، شبکه عصبی و حداکثر احتمال استفاده کرد. برای انجام طبقه‌بندی، تصویر Quickbird به کار برده شد و نقشه کاربری اراضی با ۹ طبقه ایجاد شد. صحت طبقه‌بندی کاربری اراضی برای روش‌های درخت تصمیم‌گیری، شبکه عصبی و حداکثر احتمال به ترتیب ۷۴، ۶۵ و ۴۰ درصد برآورد گردید (Lizarazo, 2006, 295).

جیانجون و همکاران، برای طبقه‌بندی پوشش و کاربری اراضی شهر ژیان از الگوریتم پس‌انتشار و روش شبکه عصبی استفاده کردند. آنها ۶ باند طیفی تصاویر TM/ETM<sup>+</sup> را به عنوان ورودی به شبکه عصبی معرفی کردند و منطقه را به ۶ نوع پوشش و کاربری اراضی طبقه‌بندی کردند (Jianjun et al., 2005, 428).

هدف اصلی پژوهش حاضر، تهیه نقشه پوشش اراضی شهر اراک با استفاده از تصویر سنجنده LISS III ماهواره IRS-P6 و با به‌کارگیری دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی پرسپترون سه‌لایه و مقایسه کارایی این دو روش در طبقه‌بندی پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه است.

- 
1. Backpropagation
  2. Multi-Layer Perceptron
  3. Tor Vergata
  4. Decision Tree

### روش حداکثر احتمال

از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به‌عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌ها شناخته شده است (علوی‌پناه، ۱۳۸۲، ۳۱۱ و Liu et al., 2002, 258). در این روش، طبقه‌بندی براساس واریانس و کوواریانس انجام می‌شود. در روش مذکور فرض بر این است که همهٔ مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های 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 گسترهٔ پیوسته قرار گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل موردنظر به کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲، ۳۱۱).

### روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی روش‌های محاسباتی مورد استفاده برای طبقه‌بندی داده‌ها هستند. تا کنون شبکه‌های عصبی مصنوعی در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی نظیر رایانه، روان‌شناسی، زیست‌شناسی، شیمی آلی و جز اینها به کار گرفته شده است. از اواخر دهه ۱۹۸۰، شبکه‌های عصبی مصنوعی برای آنالیز داده‌های سنجش از دور در کاربردهای گوناگون مانند طبقه‌بندی پوشش اراضی، آشکارسازی ابر و مانند اینها به کار گرفته شده است (Watts, 2001, 8). شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش مطلوبی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی به‌شمار می‌آیند، زیرا برای انواع داده‌ها در مقیاس‌های آماری گوناگون قابل استفاده‌اند (Gahegan et al., 1999, 6). به‌طور کلی سه مرحله در طبقه‌بندی شبکه عصبی وجود دارد. مرحله اول، فرایندی آموزشی با استفاده از داده‌های ورودی است. مرحله دوم، فاز اعتبارسنجی است که موفقیت فاز آموزشی و صحت شبکه را تعیین می‌کند و مرحله آخر، طبقه‌بندی است که نقشهٔ طبقه‌بندی‌شدهٔ پوشش یا کاربری اراضی را ایجاد می‌کند (Wijaya, 2005, 15).

این روش طبقه‌بندی دارای مزایای زیر است:

۱. ماهیت غیرپارامتریک؛
۲. سازگاری آسان با انواع گوناگون داده‌ها و ساختارهای ورودی؛
۳. توانایی برای شناسایی الگوهای ظریف در داده‌های آموزشی (Liu et al., 2002, 258)؛
۴. قابلیت تعمیم مناسب براساس الگوهای ارائه‌شده برای شبکه (بیگی و مسیبی، ۱۳۸۵، ۳۰۴ و Liu et al., 2002, 258)؛
۵. توانایی پردازش داده‌های دارای نویز (Hung et al., 2004, 1).

انواعی از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی وجود دارد، که از میان آنها «شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای» متداول‌ترین مدل مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور است. شبکه‌های پرسپترون چندلایه‌ای معمولاً با روش پس‌انتشار آموزش داده می‌شوند. فرایند آموزش و یادگیری، نیاز به مجموعه‌ای از الگوهای آموزشی با ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب دارد (Yuan, 2002, 49).

به‌طور کلی، برای رسیدن به یک مدل مطلوب شبکه عصبی، انجام مراحل شامل پیش‌پردازش داده‌ها، انتخاب ساختار و معماری شبکه و آموزش شبکه ضرورت دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶، ۳۰). ساختار شبکه و پارامترهای آن و تعداد تکرارها غالباً براساس آزمون‌های متعدد و تجربیات قبلی انتخاب می‌شود (Foody, 2000, 440)

## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه مورد مطالعه

شهر اراک، مرکز استان مرکزی است که به سبب وجود کارخانه‌های صنعتی از قبیل نیروگاه‌ها، کارخانه‌های پتروشیمی، ماشین‌سازی، آلومینیوم‌سازی و انبوهی از شرکت‌ها و کارخانه‌های صنعتی و تولیدی، یکی از قطب‌های صنعتی کشور به‌شمار می‌آید. منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده شهر اراک و محدوده اطراف آن است که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۷°۳۳' تا ۳۷°۴۸' شمالی (۳۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۸ دقیقه شمالی) و طول‌های جغرافیایی ۴۸°۳۳' تا ۴۸°۴۹' شرقی (۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی) واقع است. ارتفاع متوسط شهر، حدود ۱۷۰۰ متر از سطح دریاست. این شهر در دهه‌های گذشته به‌دلیل فرایند صنعتی شدن و به تبع آن مهاجرت جمعیت، رشد بسیار سریعی داشته و بر محیط پیرامون خود تأثیرات شدیدی بر جای گذاشته است؛ به‌عنوان نمونه، جمعیت این شهر از ۵۹۰۰۰ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۴۴۶۷۶۰ نفر در سال ۱۳۸۵ افزایش یافته است. به‌دلیل تغییرات گسترده این شهر، پایش و تهیه نقشه پوشش اراضی آن، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

### داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر به شرح زیر است:

- تصویر LISS III ماهواره IRS-P6، ۲۷ خرداد ۱۳۸۵، مربوط به گذر ۶۸ و ردیف ۴۶.
- تصویر PAN سنجنده LISS-IV ماهواره IRS-P6، ۲۷ خرداد ۱۳۸۵، مربوط به گذر ۶۸ و ردیف ۴۶.
- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰.
- DEM منطقه.

### روش کار

از روش‌های گوناگون پیش‌پردازش، پردازش و طبقه‌بندی، برای تهیه نقشه پوشش اراضی استفاده شد که مراحل آن در ادامه آمده و فلوچارت مراحل انجام تحقیق نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

### الف) تصحیح هندسی

عمل تطابق هندسی تصویر با استفاده از نقاط کنترل زمینی و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه صورت گرفت. با توجه به قدرت تفکیک مناسب تصویر PAN سنجنده LISS-IV، تصویر ذی‌ربط به نقشه‌های توپوگرافی ثبت داده شد و

سپس تصویر LISS III نسبت به تصویر PAN تصحیح شده سنجنده LISS-IV ثبت داده شد. برای این منظور، حداقل ۳۰ نقطه با پراکنش مناسب بر روی هر تصویر انتخاب گردید و تصحیح هندسی با استفاده از معادله درجه اول و عمل نمونه‌گیری مجدد با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه انجام گرفت.

### ب) تصحیح توپوگرافی

به علت کوهستانی بودن منطقه و تأثیر سایه بر روی داده‌های ماهواره‌ای، تصحیح توپوگرافیک با استفاده از DEM منطقه و ارتفاع از سطح دریا و آزیموت خورشید و با مدل لامبرت صورت گرفت.

### ج) تهیه نقشه شیب

در این مطالعه، نقشه شیب با استفاده از DEM منطقه ایجاد شد و با توجه به شناخت کامل منطقه، بررسی‌های میدانی و برداشت نقاط زمینی با استفاده از GPS و نیز روی هم‌گذاری این نقاط و نقشه شیب و همچنین با در نظر گرفتن شیب مناطق گوناگون، به گونه‌ای طبقه‌بندی شد که طبقه کوه با وجود ناهمگنی به خوبی از سایر طبقات تفکیک گردید. در نهایت، نقشه‌ای تهیه شد که به صورت صفر و یک بود، یعنی شیب بالاتر از حدود ۳۰ درصد که شیب مورد نظر ما برای جداسازی مناطق کوهستانی بود، معادل یک و مناطق دارای شیب پایین‌تر از آن، صفر در نظر گرفته شد.

### د) بازسازی تصاویر

به منظور افزایش وضوح تصاویر و نمایان‌تر شدن پدیده‌ها و عوارض موجود، از روش‌های زیر استفاده شد:

- ایجاد تصویر رنگی کاذب: برای ساختن تصاویر رنگی در فضای RGB، از شاخص مطلوبیت استفاده گردید. محاسبه فاکتور مطلوبیت، باندهایی انتخاب شد که ضریب همبستگی کمتر و واریانس بالاتری داشتند.
- فیوژن تصویر: برای افزایش قدرت تفکیک مکانی تصویر LISS III، این تصویر با تصویر PAN سنجنده LISS-IV با قدرت تفکیک مکانی بالا ادغام شد.

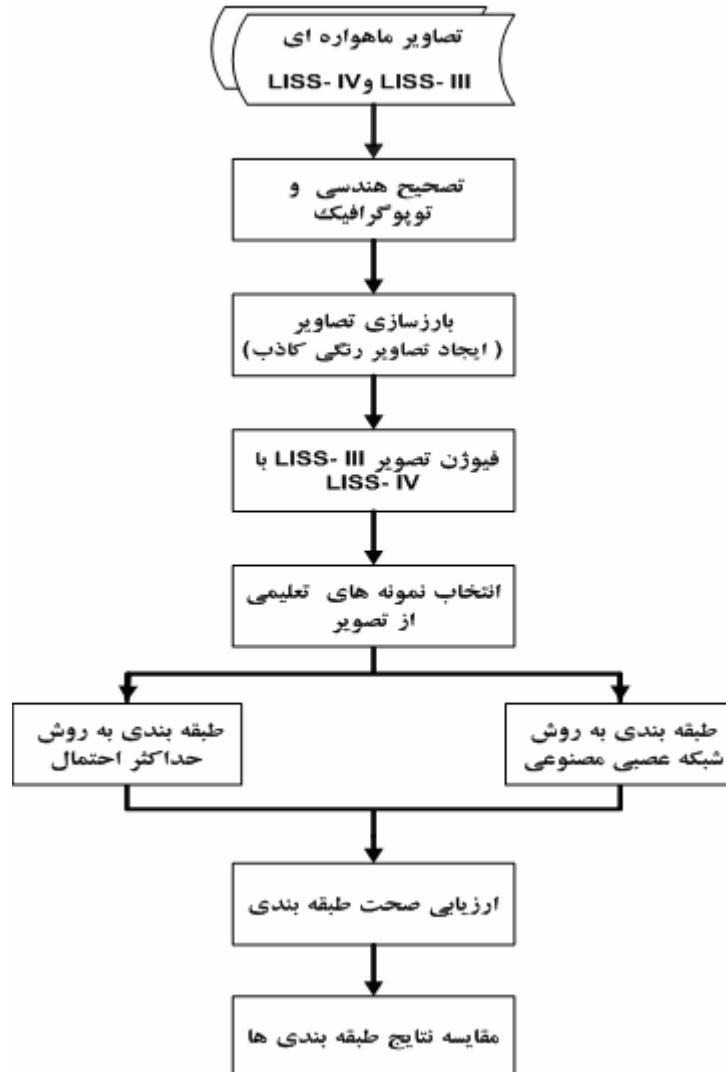
### ه) طبقه‌بندی

بعد از پردازش‌های اولیه و با استفاده از تصاویر رنگی کاذب و تصویر حاصل از فیوژن و همچنین بازدیدهای صحرائی، انواع پوشش‌های مختلف منطقه به شرح جدول ۱ شناسایی گردید. به منظور طبقه‌بندی تصویر، نمونه‌های آموزشی به عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات براساس عملیات میدانی انتخاب شد. برای ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات در نمونه‌های آموزشی، از شاخص واگرایی تبدیل شده استفاده گردید و در نهایت برای طبقه‌بندی تصویر از دو روش حداکثر احتمال و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. برای تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، روش پرسپترون سه لایه‌ای و الگوریتم پس‌انتشار به کار برده شد. این مدل دربرگیرنده یک

لایه ورودی، یک لایه نهفته و یک لایه خروجی بود. گره‌های ورودی برای طبقه‌بندی تصویر، دربرگیرنده ۴ باند طیفی این سنجنده و نقشه شیب طبقه‌بندی شده منطقه و نمونه‌های آموزشی تهیه شده براساس عملیات میدانی و تصویر حاصل از فیوژن بود.

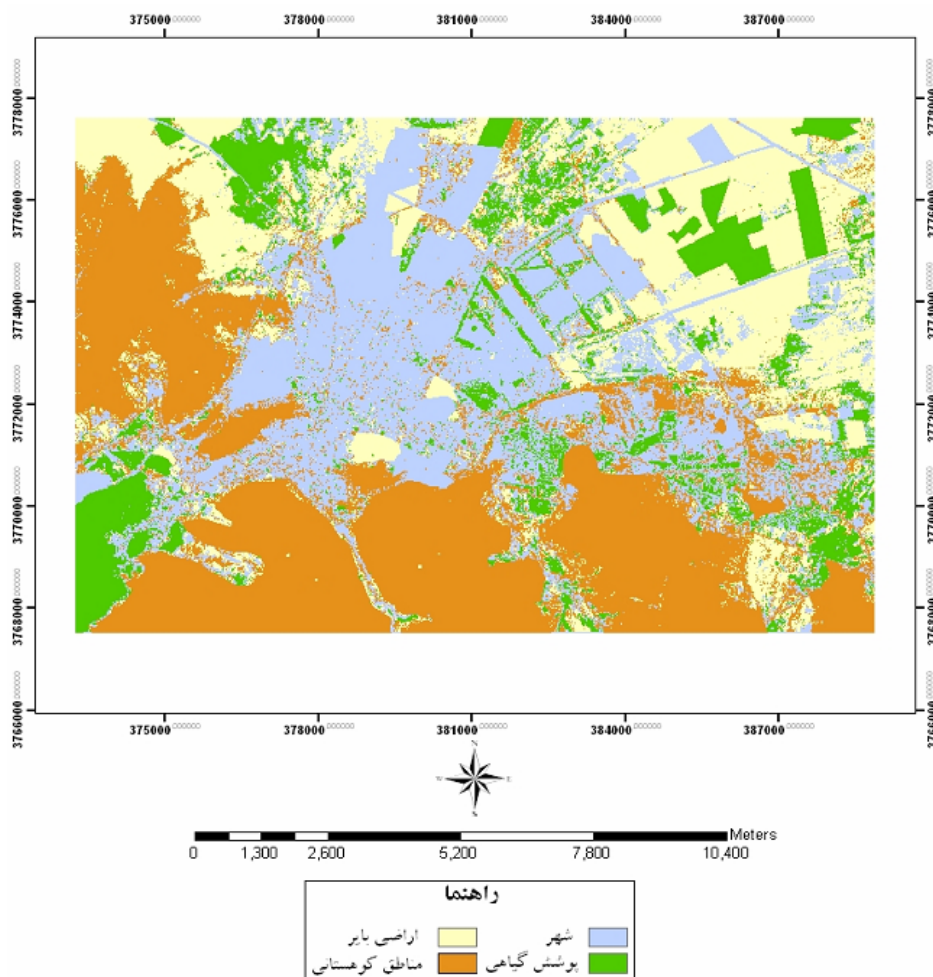
جدول ۱. طبقات پوشش اراضی و توصیف آنها

نام طبقه	توصیف
شهری	مناطق مسکونی، صنعتی و تجاری
پوشش گیاهی	انواع پوشش گیاهی شامل کشاورزی و فضای سبز شهری
بایر	مناطق بایر و دارای پوشش گیاهی بسیار اندک که به شکل خاک یا زمین برهنه هستند
کوه	مناطق کوهستانی و رخنمون‌های سنگی



شکل ۱. فلوجارت مراحل تحقیق

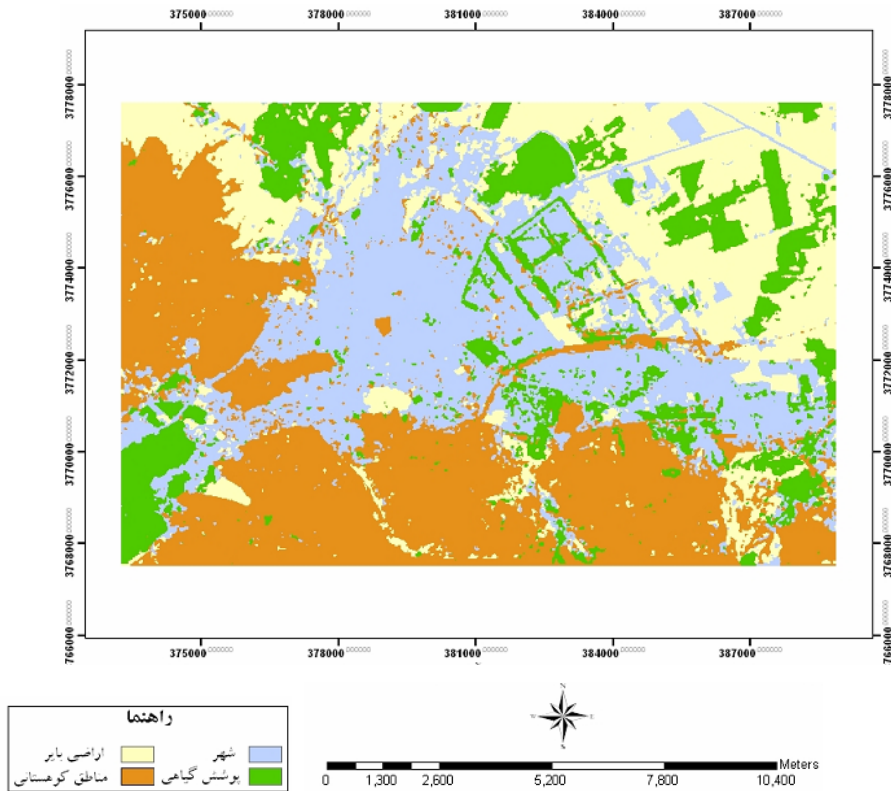
به منظور مقایسه تأثیر استفاده از شیب در بهبود صحت طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی، این روش روی ۴ باند طیفی به عنوان ورودی نیز اعمال شد و از نقشه شیب استفاده نگردید. در پژوهش حاضر، تعداد متفاوتی گره نهفته مورد استفاده قرار گرفت تا مناسب‌ترین شبکه برای انجام طبقه‌بندی انتخاب شود. تعداد لایه‌های خروجی نیز ۴ عدد - یعنی به تعداد طبقات پوشش اراضی به دست آمده - در نظر گرفته شد. به منظور انتخاب شبکه بهینه و اجرای صحیح طبقه‌بندی، مقادیر متفاوتی برای پارامترهای شبکه نظیر نرخ یادگیری<sup>۱</sup>، گشتاور<sup>۲</sup> و میزان تکرار در نظر گرفته شد و صحت آنها مورد آزمون قرار گرفت تا مناسب‌ترین مقادیر برای این مطالعه شناسایی گردد. در نهایت، مقادیری برای این پارامترها انتخاب شد که موجب افزایش صحت و کاهش خطای طبقه‌بندی گردید. طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال نیز با استفاده از نمونه‌های آموزشی روی تصویر اعمال گردید. نقشه‌های پوشش اراضی ایجاد شده در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.



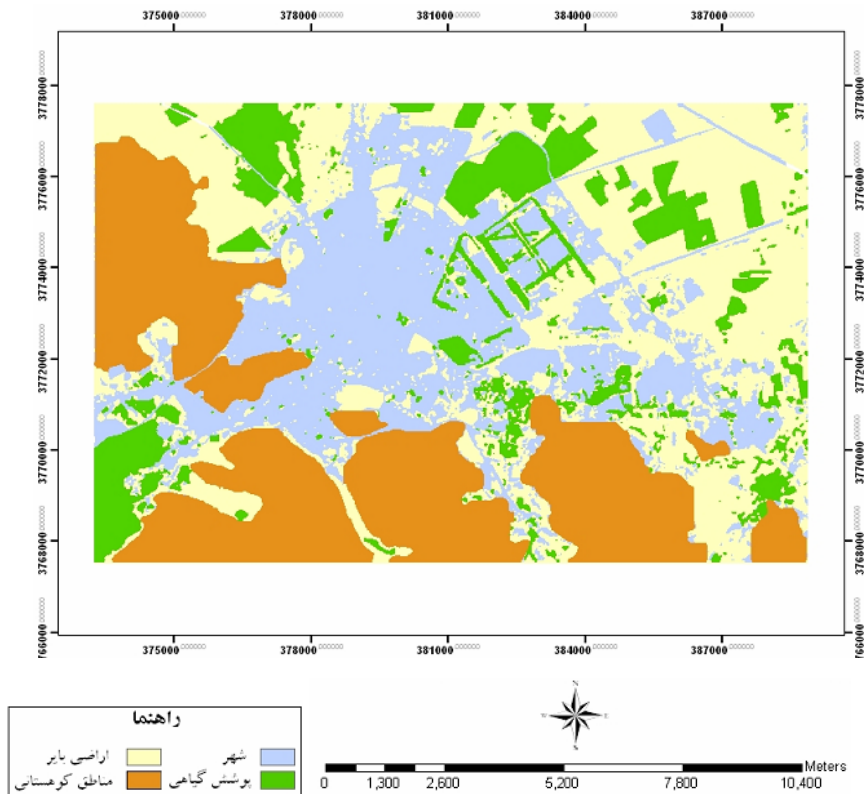
شکل ۲. نقشه پوشش اراضی حاصل از طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال

1. Learning Rate
2. Momentum





شکل ۳. نقشه پوشش اراضی حاصل از طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب



شکل ۴. نقشه پوشش اراضی حاصل از طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی با استفاده از نقشه شیب

### ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده

برای تعیین صحت طبقه‌بندی، برداشت زمینی با استفاده از GPS انجام گرفت، که به‌عنوان داده‌های مرجع برای مقایسه با تصویر طبقه‌بندی شده به کار گرفته شد. تعداد ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی مورد استفاده قرار گرفت و ماتریس خطا تشکیل گردید. صحت کاربر و تولیدکننده نیز محاسبه شد.

### یافته‌های تحقیق

با انجام عملیات میدانی و اعمال تصحیح، بارزسازی و طبقه‌بندی داده‌های رقومی مورد استفاده در تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه، نتایج مراحل مختلف آنالیزها به شرح ذیل حاصل شد:

تصحیح هندسی بر روی تصاویر انجام گرفت و PMSE برای تصاویر بین ۰/۵ تا ۰/۶ برآورد گردید. با روی هم‌اندازی جاده‌ها بر روی تصویر تصحیح‌شده، دقت بالای عملیات تصحیح هندسی مشخص شد.

در فن سنجش از دور، تهیه تصویر رنگی کاذب مناسب برای هر منطقه مهم است. انتخاب گروه باندهای مناسب به داده‌های سنجش از دور امکان استفاده بیشتری می‌دهد (بنیاد و حاجی‌قادری، ۱۳۸۶، ۶۳۶). به‌منظور انتخاب گروه باندهای سه‌تایی مناسب برای ترکیب RGB به‌منظور تفسیر و طبقه‌بندی بهتر، از شاخص مطلوبیت استفاده شد و بهترین ترکیب باندهای ۳-۲-۱ تعیین گردید، که برای تهیه نمونه‌های آموزشی، تفسیر و تهیه نقشه پوشش اراضی مورد استفاده قرار گرفت. بنیاد و حاجی‌قادری نیز به‌منظور ایجاد بهترین تصاویر رنگی برای تهیه نقشه جنگل‌های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره لندست ۷، از محاسبه شاخص مطلوبیت (OIF) استفاده کردند (بنیاد و حاجی‌قادری، ۱۳۸۶، ۶۳۲).

با انجام عملیات ادغام ترکیب باندهای LISS-III با باند پانکروماتیک، تصویری با قدرت تفکیک مکانی ۵/۸ متر به دست آمد که برای انتخاب نمونه‌های آموزشی و شناخت بهتر پدیده‌های زمینی بسیار مؤثر بود.

شاخص واگرایی تبدیل‌شده محاسبه‌شده برای نمونه‌های آموزشی، در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج برآورد این شاخص نشان می‌دهد که ترکیبات جفتی طبقات شهری، پوشش گیاهی و کوه به‌خوبی از یکدیگر تفکیک پذیرند، ولی طبقات کوه و بایر دارای تفکیک‌پذیری پایینی هستند. به همین دلیل در طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی، از نقشه شیب تولید شده از DEM استفاده شد تا مناطق کوهستانی به‌خوبی از سایر مناطق تفکیک شود. فاضلی نیز در مطالعات خود برای جداسازی مناطق کوهستانی به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی اصفهان بزرگ از نقشه شیب منطقه استفاده کرد. بدین ترتیب که نقشه شیب با استفاده از DEM منطقه ایجاد شد و با طبقه‌بندی شیب، مناطق کوهستانی از تصویر ماسک شدند و پس از آن روش‌های گوناگون طبقه‌بندی بر روی تصویر اعمال گردید (فاضلی، ۱۳۸۶، ۷۵). برای اجرای طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی، تعداد متفاوتی بر روی تصویر اعمال گردید (فاضلی، ۱۳۸۶، ۷۵). برای اجرای طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی، تعداد متفاوتی از گره‌های نهفته در شبکه مورد آزمایش قرار گرفت و مناسب‌ترین تعداد گره نهفته برابر با تعداد گره‌های ورودی یعنی به تعداد ۴ و ۵ گره برای طبقه‌بندی بدون استفاده و با استفاده از نقشه شیب تعیین شد. مناسب‌ترین مقادیر برای نرخ آموزش و گشتاور با استفاده از آزمون و خطا به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵ تعیین شد.

جدول ۲. شاخص واگرایی تبدیل‌شده طبقات پوشش اراضی

نام طبقه	شهری	پوشش گیاهی	بایر	کوه
شهری	۰			
پوشش گیاهی	۱۹۹۹/۹۱	۰		
بایر	۱۹۹۹/۰۹	۲۰۰۰	۰	
کوه	۱۹۹۸/۵۲	۲۰۰۰	۱۳۴۵/۹۴	۰

ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدشده، با مقایسه آنها با واقعیت زمینی انجام پذیرفت؛ که نتیجه آن در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ آمده است. صحت طبقه‌بندی برای روش حداکثر احتمال، روش شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب و شبکه عصبی با استفاده از نقشه شیب به ترتیب ۹۲/۶، ۹۲/۷ و ۹۴/۶ درصد برآورد گردید.

جدول ۳. ماتریس خطای طبقه‌بندی پوشش اراضی به روش حداکثر احتمال  
صحت کلی: ۹۲/۶۳٪ کاپای کلی: ۸۹/۹۰٪

طبقات پوشش اراضی	مناطق مسکونی-صنعتی	پوشش گیاهی	مناطق بایر	کوه	جمع	صحت کاربر (درصد)
مناطق مسکونی-صنعتی	۹۳۰	۲۲	۱۰	۲	۹۶۴	۹۶/۵
پوشش گیاهی	۹	۵۲۷	۱۴	۱	۵۵۱	۹۵/۷
مناطق بایر	۲۴	۰	۵۲۴	۱۷	۵۶۵	۹۲/۸
کوه	۸۸	۰	۵۰	۱۰۰۱	۱۱۳۹	۸۷/۹
جمع (پیکسل‌ها)	۱۰۵۱	۵۴۹	۵۹۸	۱۰۲۱	۳۲۱۹	
صحت تولیدکننده (درصد)	۸۸/۵	۹۶	۸۷/۷	۹۸/۱		

جدول ۴. ماتریس خطای طبقه‌بندی پوشش اراضی به روش شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب  
صحت کلی: ۹۲/۷۶٪ کاپای کلی: ۹۰/۰۷٪

طبقات پوشش اراضی	مناطق مسکونی-صنعتی	پوشش گیاهی	مناطق بایر	کوه	جمع	صحت کاربر (درصد)
مناطق مسکونی-صنعتی	۸۸۶	۰	۳	۲۰	۹۰۹	۹۷/۵
پوشش گیاهی	۰	۵۴۹	۳	۰	۵۵۲	۹۹/۵
مناطق بایر	۴	۰	۵۶۰	۱۰	۵۷۴	۹۷/۶
کوه	۱۶۱	۰	۳۲	۹۹۱	۱۱۸۴	۸۳/۷
جمع (پیکسل‌ها)	۱۰۵۱	۵۴۹	۵۹۸	۱۰۲۱	۳۲۱۹	
صحت تولیدکننده (درصد)	۸۴/۳	۱۰۰	۹۳/۷	۹۷/۱		

جدول ۵. ماتریس خطای طبقه‌بندی پوشش اراضی به روش شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از نقشه شیب  
 کاپای کلی: ۹۰/۰۷٪ صحت کلی: ۹۲/۷۶٪

طبقات پوشش اراضی	مناطق مسکونی-صنعتی	پوشش گیاهی	مناطق بایر	کوه	جمع	صحت کاربر (درصد)
مناطق مسکونی-صنعتی	۱۰۱۸	۰	۸	۲	۱۰۲۸	۹۹/۱
پوشش گیاهی	۰	۴۵۱	۱۱	۰	۴۶۲	۹۷/۷
مناطق بایر	۳۳	۹۸	۵۷۹	۲۲	۷۳۲	۷۹/۱
کوه	۰	۰	۰	۹۹۷	۹۹۷	۱۰۰
جمع (پیکسل‌ها)	۱۰۵۱	۵۴۹	۵۹۸	۱۰۲۱	۳۲۱۹	
صحت تولیدکننده (درصد)	۹۶/۹	۸۲/۲	۹۶/۹	۹۷/۷		

نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان می‌دهد که طبقه‌بندی به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال با ورودی‌های مشابه - یعنی در صورت عدم به‌کارگیری نقشه شیب - دارای صحت و کاپای کلی نسبتاً مشابهی هستند، به‌گونه‌ای که با اختلاف جزئی، صحت کلی روش شبکه عصبی بالاتر است.

در طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال و نیز طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب، مشاهده می‌شود که پیکسل‌های طبقات بایر و مناطق شهری به‌ویژه خیابان‌ها و بزرگراه‌ها با کوه دارای اختلاط زیادی هستند. طبقه کوه دارای کمترین میزان صحت کاربر در هر دو طبقه‌بندی بوده است، که نشان می‌دهد به ترتیب در حدود ۸۸ و ۸۴ درصد از پیکسل‌های طبقه کوه در طبقه‌بندی‌های حداکثر احتمال و شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب به‌درستی به این طبقه اختصاص یافته‌اند. صحت کاربر در همه طبقات - به جز طبقه کوه - در روش شبکه عصبی بدون استفاده از نقشه شیب، بالاتر از روش حداکثر احتمال است. شبکه عصبی مصنوعی، توانایی چندانی در تفکیک طبقه کوه در منطقه مورد مطالعه نداشت، که علت آن اختلاط پیکسل‌های این طبقه با اراضی شهری و بایر بوده است. دلیل استفاده از نقشه شیب طبقه‌بندی‌شده به‌عنوان یک گروه ورودی در این روش نیز همین عامل بوده است. می‌توان از نقشه شیب ذکر شده برای اصلاح نقشه حاصل از طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده کرد، اما هدف از مطالعه حاضر این بود که صرفاً از روش‌های طبقه‌بندی استفاده شود و پس از طبقه‌بندی، اصلاحی صورت نگیرد، تا بتوان توانایی روش‌ها را در تهیه نقشه پوشش اراضی مورد مقایسه قرار داد.

طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی با استفاده از نقشه شیب، دارای بالاترین صحت کلی است و به‌خوبی از عهده تفکیک ۴ نوع پوشش از یکدیگر برمی‌آید. استفاده از نقشه شیب طبقه‌بندی‌شده به‌عنوان ورودی در شبکه عصبی، به این دلیل می‌تواند صحت طبقه‌بندی را افزایش دهد که باعث عدم اختلاط پیکسل‌های مناطق شهری و اراضی بایر با کوه می‌شود. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، صحت کاربر مربوط به طبقه کوه در طبقه‌بندی شبکه عصبی با به‌کارگیری نقشه شیب، ۱۰۰ درصد است که بیان می‌دارد کلیه پیکسل‌های کوه در طبقه‌بندی، به‌درستی به طبقه کوه

اختصاص یافته‌اند. این درحالی است که پایین‌ترین صحت کاربر در دو طبقه‌بندی دیگر، مربوط به طبقه کوه بوده است. میانگین صحت تولیدکننده برای روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی بدون استفاده و با استفاده از شیب به ترتیب در حدود ۹۲/۵، ۹۳/۷ و ۹۳/۴ درصد برآورد گردید، که نشان‌دهنده صحت مطلوب بالای ۸۵ درصد برای هر سه روش است. در مورد صحت تولیدکننده نیز هر دو روش شبکه عصبی با استفاده و بدون استفاده از شیب - با اختلاف اندکی از یکدیگر - صحت بالاتری از روش حداکثر احتمال دارند.

تداخل برخی پیکسل‌های مربوط به اراضی بایر با مناطق مسکونی - صنعتی در هر سه روش طبقه‌بندی به اختلاط طیفی پیکسل‌های شهر و اراضی بایر مربوط می‌شود. اومو ایرابور نیز در مطالعه‌ای که به‌منظور آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی منطقه دلتای نیجر در نیجریه انجام داده، به بازتاب مشابه پیکسل‌های اراضی بایر و شهری اشاره کرده است (Omo-Irabor & Oduyemi, 2007, 1).

تداخل تعدادی از پیکسل‌های اراضی بایر با پوشش گیاهی، به اراضی دارای پوشش گیاهی اندک مربوط می‌شود. این مناطق برحسب اینکه محصور بین اراضی دارای پوشش گیاهی یا اراضی بایر باشند و تحت تأثیر بازتاب یکی از آنها قرار گیرند، ممکن است در طبقه‌ای نادرست طبقه‌بندی گردند.

نتایج این پژوهش مشابه نتایجی است که برخی محققان در مناطق گوناگون به آن دسته یافته‌اند. به‌عنوان مثال، لی و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که شبکه‌های عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی تصویر را بهتر از روش‌های قدیمی آماری انجام می‌دهند، زیرا به داده‌هایی با توزیع پارامتریک نیاز ندارند (Mendoza et al., 2004, 1).

سوگماران، روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال را برای طبقه‌بندی پوشش اراضی منطقه جنگلی با استفاده از سنجنده LISS-III ماهواره IRS-1C با هم مقایسه کرد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی در جداسازی جنگل دست‌کاشت و آب تا حدودی موفق بود، ولی تفاوت چندانی در طبقه‌بندی جنگل طبیعی همگن ایجاد نمی‌کرد (Sugumaran, 2001, 39).

فازی و همکاران از دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی برای مشخص کردن وضعیت قطع درختان در جنگل‌های بارانی حاره‌ای استفاده کردند و نتایج حاصل از دو روش را با هم مقایسه گذاشتند. آنها به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی، طبقه‌بندی را با صحت بیشتری انجام می‌دهد. در مطالعه آنها، از چند نوع ورودی برای شبکه عصبی استفاده شد و مقایسه نتیجه طبقه‌بندی نشان داد که استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، به‌عنوان ورودی در شبکه عصبی موجب افزایش صحت طبقه‌بندی می‌گردد. صحت طبقه‌بندی حداکثر احتمال با ۵ باند طیفی  $ETM^+$ ، معادل ۶۴/۲ درصد و صحت طبقه‌بندی با ۵ باند طیفی  $ETM^+$  و روش شبکه عصبی معادل ۶۶/۷ درصد برآورد شد. افزودن مدل ارتفاعی رقومی به‌عنوان ورودی به شبکه عصبی، صحت طبقه‌بندی را به ۷۴/۱ درصد افزایش داد (Fauzi et al., 2001, 3). لیو و همکاران نیز در مطالعه‌شان برای طبقه‌بندی پوشش اراضی در استان اوریجسل، به این نتیجه رسیدند که طبقه‌بندی شبکه عصبی صحت کلی بالاتری در مقایسه با طبقه‌بندی حداکثر احتمال ارائه می‌دهد (Liu et al., 2002, 266).

حسینی و همکاران نیز از روش‌های طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی و حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصویر

IRS-1D مربوط به منطقه‌ای در شمال ایران استفاده کردند. آنها دریافتند که روش طبقه‌بندی شبکه عصبی دارای صحت بیشتری در مقایسه با روش حداکثر احتمال است، به گونه‌ای که صحت طبقه‌بندی روش حداکثر مشابهت ۷۸/۵ درصد و صحت روش شبکه عصبی ۸۶/۱۹ درصد به دست آمد (Hosseini et al., 2004, 4).

لیزارازو هم در مطالعه‌اش برای طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه شهری بوگوتا در کلمبیا، به نتیجه مشابهی دست یافت و صحت طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی را بالاتر از روش حداکثر احتمال برآورد کرد (Lizarazo, 2006, 295).

## نتیجه‌گیری

نتایج کلی حاصل از پژوهش حاضر را می‌توان چنین دسته‌بندی کرد:

۱. طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، روشی مناسب برای تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی به‌شمار می‌آید که قابلیت طبقه‌بندی با صحت بالا را دارد. به‌ویژه اینکه در این روش می‌توان از داده‌های کمکی به‌عنوان ورودی در طبقه‌بندی استفاده کرد، لذا نیاز به اصلاح پس از طبقه‌بندی وجود ندارد.
۲. گرچه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش شبکه عصبی، صحت بالاتری در مقایسه با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال ارائه می‌دهد، روش حداکثر احتمال نیز برای طبقه‌بندی پوشش اراضی مناسب است و در این مطالعه، صحت بالایی را ارائه داد. صحت طبقه‌بندی حداکثر احتمال معادل ۹۲/۶ درصد برآورد گردید و بیان شده است که صحت بالاتر از ۸۵ درصد برای طبقه‌بندی مناسب است (علوی‌پناه، ۱۳۸۲، ۳۴۴).
۳. صحت تولیدکننده و کاربر برای بیشتر طبقات در سه روش طبقه‌بندی، بالاتر از ۸۵ درصد برآورد گردید که نشان‌دهنده میزان صحت در حد مطلوب است.
۴. تصاویر سنجنده LISS-III و LISS-IV ماهواره IRS-P6 با قدرت تفکیک طیفی مناسب، اطلاعات و جزئیات دقیقی را از عوارض و پدیده‌های سطح زمین فراهم می‌آورد. افزون بر این، تصاویر به‌راحتی در اختیار قرار می‌گیرد و تصاویر روزآمدی از منطقه را فراهم می‌کند. با وجود مزایای زیاد، تصاویر این سنجنده محدودیت‌هایی نیز دارد. قدرت تفکیک رادیومتریک تصاویر سنجنده LISS-III پایین است و تعداد باندهای آن نیز محدود هستند. عدم تفکیک مناطق بایر و کوهستانی در این تحقیق احتمالاً به دلیل همین محدودیت‌هاست.
۵. استفاده از داده‌های کمکی مانند نقشه شیب می‌تواند منجر به بهبود صحت طبقه‌بندی و تفکیک بهتر طبقات پوشش از یکدیگر شود. یوان و همکاران نیز در مطالعات‌شان به این نتیجه رسیدند که استفاده از داده‌ها و اطلاعات کمکی مانند نقشه شیب در طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی، چنان کمکی به تفکیک طبقات پوششی اراضی می‌کند که تفکیک آنها بدون استفاده از داده‌های کمکی دشوار است (Yuan et al., 2005, 5).

## منابع

- Alavipanah, S.K., 2003, **Application of Remote Sensing in the Earth Sciences (soil)**, Tehran university publication, Tehran.
- Alavipanah, S.K., Masoudi, M., 2000, **Land Use Mapping Using Landsat TM and Geographic Information System (GIS), a Case Study: Mouk Region of Fars Province**, J. Agri. Sci. Natural Resources, Vol. 8, No. 1, pp. 65-75.
- Amiri, A., Chavooshi, H., Amini, J., 2007, **Comparison of Three Satellite Image Classification: Fuzzy, Neural Network and Minimum Distance**, Geomatic Conference, National Cartographic Center, Tehran.
- Bischof, H., Schneider W. and Pinz, A.J., 1992, **Multispectral Classification of Landsat-Images Using Neural Networks**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 30, No. 3, pp. 482-490.
- Bonyad, A.E., Hajyghaderi, T., 2008, **Inventorying and Mapping of Natural Forest Stands of Zanjan Province Using Landsat ETM+ Image Data**, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 11, No. 42, pp. 627-639.
- Del Frate, F., Schiavon, G. and Solimini, C., 2005, **Change Detection in Urban Areas with QuickBird Imagery and Neural Networks Algorithms**, 5th International Symposium, Remote Sensing of Urban Areas, Tempe, Arizona, USA.
- Fauzi, A., Hussin, Y.A. and Weir, M., 2001, **A Comparison between Neural Networks and Maximum Likelihood Remotely Sensed Data Classifiers to Detect Tropical Rain Logged-cover Forest in Indonesia**, Asian Conference on Remote Sensing.
- Fazeli, R., 2008, **The Use of Satellite Images and GIS in Land Use Mapping in Isfahan Province**, MSc. Thesis, Natural resources Faculty, Isfahan University of Technology.
- Feyzollahbeigi, A., Mosayebi, F., 2007, **Remote Sensing and Urban Analysis**, Research Institute of National Cartographic Center Publication, Tehran.
- Foody, G.M., 2000, **Mapping Land Cover from Remotely Sensed Data with a Softened Feedforward Neural Network Classification**, Journal of Intelligent and Robotic Systems, No.29, pp. 433-449.
- Gahegan, M., German, G. and West, G., 1999, **Improving Neural Network Performance on the Classification of Complex Geographic Datasets**, Journal of Geographical Systems, No. 1, pp. 3-22.
- Hosseini Aria, E., Amini, J. and Saradjian, M.R., 2004, **Back Propagation Neural Network for Classification of IRS-1D Satellite Images**, ISPRS, <http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/aria.pdf>.
- Hung, C.C., Coleman, T.L. and Long, O., 2004, **Supervised and Unsupervised Neural Models for Multispectral Image Classification**, ISPRS, <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/20.pdf>.
- Jianjun, J., Jie, Z., Hongan, W., Li, A., Hailing, Z., Li, Z., Jun, X., 2005, **Land Cover Changes in the Rural-urban Interaction of Xian Region Using Landsat TM/ETM Data**, Journal of Geographical Science, Vol. 15, No. 4, pp. 423-430.

- Liu, X.H., Skidmore, A.K. and Oosten, H.V., 2002, **Integration of Classification Methods for Improvement of Land-cover Map Accuracy**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, No.56, pp. 257-268.
- Lizarazo, I., 2006, **Urban Land Cover and Land Use Classification Using High Spatial Resolution Images and Spatial Metrics**, Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover, pp. 292-298.
- Mas, J.F., 2003, **An Artificial Neural Networks Approach to Map Land Use/cover Using Landsat Imagery and Ancillary Data**, Proceedings of the International Geosciences and Remote Sensing Symposium IEEE IGARSS 2003, Vol. VI, pp. 3498-3500, Toulouse, France.
- Mendoza, E.H., Santos, J.R., Santo Rosa, A.N.C., Silva, C.N., 2004, **Land Use/land Cover Mapping in Brazilian Amazon Using Neural Network with ASTER/TERRA data**, ISPRS, <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/24.pdf>.
- Omo-Irabor, O.O. and Oduyemi, K., 2007, **A Hybrid Image Classification Approach for the Systematic Analysis of Land Cover (LC) Changes in the Niger Delta Region**, 5th International Symposium on spatial data quality, The Netherlands.
- Rezaei, A., Mahdavi, M., Luxe, K., Feiznia, S., Mahdian, M. H., 2007, **Regional Peak Flows Modelling of Sefid rood Dam's Sub Basins Using Artificial Neural Network**, Journal of science and technology of agriculture and natural resources, Vol. 11, No. 1, pp. 25-40.
- Shataee, Sh., Abdi, O., 2007, **Land Cover Mapping in Mountainous Lands of Zagros Using ETM+ Data (Case Study: Sorkhab Watershed, Lorestan Province)**, J. Agri. Sci. Natural Resources, Vol. 14, No. 1, pp. 129-139.
- Sugumaran, R., 2001, **Forest Land Cover Classification Using Statistical and Artificial Neural Network Approaches Applied to IRS LISS - III Sensor**, Geocarto International, Vol. 16, No. 2, pp. 39-44.
- Tapiador, F.J., and Casanova, J.L., 2003, **Land Use Mapping Methodology Using Remote Sensing for the Regional Planning Directives in Segovia, Spain**, Journal of Landscape and Urban Planning, No. 62, pp. 103-115.
- Watts, D., 2001, **Land Cover Mapping by Combinations of Multiple Artificial Neural Networks**, MSc. Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.
- Wijaya, A., 2005, **Application of Multi-stage Classification to Detect Illegal Logging with the Use of Multi-source Data**, MSc. Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Yuan, F., Bauer, M.E., Heinert, N.J. and Holden, G.R., 2005, **Multi-level Land Cover Mapping of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area with Multi-seasonal Landsat TM/ETM+ Data**, Geocarto International, Vol. 20, No. 2, pp. 5-14.
- Yuan, H., 2002, **Development and Evaluation of Advanced Classification Systems Using Remotely Sensed Data for Accurate Land-use/land-cover Mapping**, Ph.D. Thesis, Department of Forestry, North Carolina State University.