

## طبقه‌بندی فازی عرصه‌های جنگلی برای طراحی مسیر جاده (مطالعه موردی: جنگلهای لیره‌سر تنکابن)

زهرا عزیزی<sup>۱</sup> و اکبر نجفی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.

۲- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور. پست الکترونیک: a.najafi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۱۷

### چکیده

طبقه‌بندی عرصه‌های جنگلی برای تعیین مکان‌های مناسب به منظور عبور جاده از اهمیت زیادی در حفاظت و مدیریت جنگلها برخوردار است، اما طبقه‌بندی این عرصه‌ها به دلیل تنوع طبقات اغلب با مشکل عدم قطعیت مواجه است. نظریه مجموعه‌های فازی روشی برای حل این گونه مشکلات ارائه می‌دهد. هدف از تحقیق حاضر، طبقه‌بندی عرصه جنگل به منظور طراحی مسیر جاده‌های جنگلی براساس لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، موجودی سرپای جنگل و تیپ جنگل در بخشی از جنگلهای لیره‌سر استان مازندران با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی است. بنابراین ابتدا توابع عضویت جزئی فازی برای کلیه لایه‌ها تعریف شد و سپس با بکارگیری عملگرهای میانگین هندسی و حداقل، لایه‌های یادشده در دو مرحله با هم ادغام شدند. ارزیابی نقشه نهایی آنروپی ۶۸ درصد را نشان داد که به معنی عدم قطعیت نسبتاً زیاد در تصمیم‌گیری برای تفکیک طبقات مطلوب و نامطلوب است. بنابراین برای طبقه‌بندی عرصه، روش فازی که در آن نیازی به تفکیک صریح مرزهای طبقات مطلوب و نامطلوب نیست و تغییرات به صورت جزئی صورت می‌گیرد، بکار گرفته شد. روش فازی این مزیت را دارد که طراحان جاده‌های جنگلی را قادر می‌سازد تا دامنه‌ای از طبقات را برای عبور جاده مطلوب در نظر بگیرند و نیازی نباشد که با عدم قطعیت زیاد طبقات مطلوب و نامطلوب را از هم تفکیک نمایند.

واژه‌های کلیدی: جاده‌های جنگلی، مجموعه فازی، عملگر میانگین هندسی، عملگر حداقل، آنروپی.

### مقدمه

برخوردار است. مفهوم پایداری، بهره‌برداری از منابع طبیعی، توسعه و مدیریت زیست‌محیطی را نیز در برمی‌گیرد. امروزه پایداری، به‌ویژه در مدیریت جنگلها در برگرفته منافع جمعی و جهانی است (Renning & Wiggering, 1997; Pelt Van et al., 1995; Armitage, 1995). بر همین اساس با ارائه راهکارهای مناسب مدیریتی می‌توان پایداری این اکوسیستم‌ها را تأمین نموده و میزان تخریب‌های زیست‌محیطی را کاهش داد. در ایران اغلب طراحان راه‌های جنگلی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و جنگل‌گردشی، یک نقشه طبقه‌بندی شده از

طراحی و ساخت جاده‌های جنگلی برای مدیریت و بهره‌برداری منطقی از جنگل امری ضروریست. در جنگلهای کوهستانی شمال کشور شکل زمین از ناهمگنی زیادی برخوردار است، بنابراین در طراحی مسیر جاده‌ها شناخت دقیق و کافی عرصه بسیار مهم است. تصمیم‌گیری برای انتخاب محل‌های مناسب برای عبور جاده با کمترین خسارت زیست‌محیطی و تضمین پایداری اکوسیستم‌های جنگلی از اهمیت ویژه‌ای در این فرایند

این صورت یک مرز قطعی برای طبقه‌ای که مطلوب هدف مورد نظر است با طبقه نامطلوب وجود ندارد، بلکه دامنه‌ای از طبقات وجود دارد که تصمیم‌گیرنده با توجه به هدف قادر است بخشی از این طبقات را مناسب تشخیص دهد. در این راستا (Silvert, 1979) روشی را برای طبقه‌بندی عوامل اکولوژیک با استفاده از مجموعه‌های فازی ارائه داده است. (Yoshimura, 1997) در مطالعات خود در زمینه طراحی مسیر جاده‌های جنگلی با بکارگیری سیستم‌های فازی توانست در جنگلهای کوهستانی ژاپن، خطر تخریب در اثر ساخت جاده‌های جنگلی را محاسبه نموده و در طراحی و مسیریابی جاده‌ها مورد توجه قرار دهد.

برای یافتن مکان‌های مناسب برای عبور مسیر جاده‌های جنگلی در کشور فنلاند، (Tan, 1992) عواملی مانند فاصله حمل و نقل، طول مسیر، ارزش و هزینه ساخت جاده‌ها را محاسبه و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و داده‌های ماهواره‌ای، الگوریتمی را برای طبقه‌بندی عرصه‌های جنگلی براساس هزینه‌ها ارائه نمود. همچنین (Acar, 1997) در بخشی از جنگلهای ترکیه با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی و بکارگیری عواملی همچون مقدار حاصل‌خیزی اراضی جنگلی، موجودی در هکتار و هزینه‌های ساخت مسیر، اقدام به طراحی مسیرهای چوبکشی نمود. در این تحقیق اساس مدل‌سازی، ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی بوده است.

حسینی و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقی، عوامل مؤثر در مسیریابی مناسب جاده‌های جنگلی را در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق عوامل مؤثر عبارت بودند از: نقشه‌های رقومی شیب، جهت، ارتفاع، مطالعات خاک‌شناسی (نوع سنگ بستر، زهکشی و تیپ خاک)، موجودی درختان و تیپ فعلی جنگل. فلاح شمسی و همکاران (۱۳۸۵) نیز برای تصمیم‌گیری در مکان‌یابی خودکار کاربری زمین برای برنامه‌ریزیهای اقتصادی در ارسباران شمالی از ارزیابی

عرصه جنگلی مورد نظر را تهیه نموده و براساس آن به طراحی مسیر بهینه اقدام می‌نمایند. روشهای استاندارد ریاضیاتی یا آماری برای طبقه‌بندی اکوسیستم‌های جنگلی در چنین مواردی مشکلاتی دارند. برخی از این مشکلات عبارتند از (Silvert, 1979):

۱- اکوسیستم چندبعدی است، بنابراین یک طبقه خاص از نقشه طبقه‌بندی شده نمی‌تواند کلیه ویژگی‌های اکولوژیک را نشان دهد، پس نمی‌توان قاطعانه یک طبقه را مناسب یا نامناسب برای عبور مسیر جاده تشخیص داد.

۲- فرایند طبقه‌بندی نیازمند داده‌های کامل است، اما به‌ندرت داده‌های جامع و کافی در دسترس است و از این نظر طبقه‌بندی دارای محدودیت می‌باشد.

۳- بسیاری از انواع داده‌های اکولوژیکی کیفی‌اند و یا آن که به‌صورت گروه‌بندی شده و گسسته بکار می‌روند. بنابراین بکارگیری آنها برای طبقه‌بندی براساس شاخص عددی مشکل است.

فرایند طبقه‌بندی شامل تفسیر معنی‌داری برای هر یک از اجزای اکوسیستم است که می‌تواند اطلاعات مفیدی را از اثر فعالیت‌های انسانی ارائه نماید. اما به‌ندرت امکان دارد که بتوان چنین کاری را بدون ناسازگاریها و ابهامات بسیار زیاد انجام داد (Silvert, 1979). از طرفی، ارزیابی اثرات اکولوژیک به‌صورت همزمان در یک اکوسیستم و بررسی پاسخ‌های اکوسیستم به دخالت‌های انسانی به‌دلیل رفتار غیر قابل درک اکوسیستم مشکل است (Bojorquez, Tapia et al., 2002). نظریه مجموعه‌های فازی (Fuzzy set theory) (Zadeh, 1965) روشی برای حل این مشکلات ارائه می‌دهد. مواجهه نظریه مجموعه‌های فازی با این مشکلات مبهم به این صورت است که در طبقه‌بندی اکوسیستم براساس یک هدف خاص، هر مقدار (برای داده‌های کمی) یا وضعیت (برای داده‌های کیفی) از عوامل مورد بررسی را به یک طبقه خاص اختصاص نمی‌دهد، بلکه هر مقدار یا وضعیت می‌تواند با کاهش یا افزایش جزئی در ارزش در طبقات مختلف قرار گیرد. در

نقشه‌ها براساس نقشه توپوگرافی منطقه تنظیم و کلیه لایه‌های یادشده در محیط نرم‌افزار Ilwis 3.0 با ابعاد پیکسل ۱۰ متری رستری شدند.

### روش پژوهش

با توجه به هدف تحقیق که طبقه‌بندی عرصه جنگلی با استفاده از روش فازی است، ابتدا به طبقات تعریف شده برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی (نقشه‌ها) یک درجه عضویت از ۰ تا ۱ اختصاص داده شد. در این فرایند در اولین مرحله یک سطح پذیرش به هر یک از طبقات در هر یک از نقشه‌ها اختصاص داده شد. سپس این اعداد به‌عنوان درجه عضویت که با نماد  $\mu$  نشان داده شد، تفسیر شدند؛ بدین ترتیب که هر چه طبقه‌ای از یک نقشه برای عبور مسیر جاده مطلوب‌تر بوده و تخریب زیست‌محیطی کمتری را موجب می‌شود، عدد اختصاص داده شده برای درجه عضویت در بازه [۰،۱] بزرگتر و در صورت کمتر مطلوب بودن آن طبقه برای عبور مسیر جاده و ایجاد تخریب زیست‌محیطی بیشتر، عدد کوچکتری از بازه [۰،۱] اختصاص داده شد. در واقع معیارها و اثرها باید با وزن‌های مناسب که نشان دهنده سهم هر عامل برای کل پایداری است وزن‌دهی شوند (Mendoza & Prabhu, 2000a).

براساس تعریف Zadeh (1965)، اطلاعات کلیه لایه‌ها که به‌صورت مجموعه‌های فازی گسسته بودند به شکل رابطه ۱ تعریف شدند (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴). شایان ذکر است که علائم "+" و "Σ" در رابطه ۱ به‌مفهوم جبری آن که در مجموعه‌های کلاسیک تعریف می‌شود، نمی‌باشد. در این تحقیق شش مجموعه از  $A_1$  تا  $A_6$  به‌ترتیب برای نقشه‌های شیب، جهت، تیپ جنگل، موجودی در هکتار توده‌های جنگل، تیپ‌های خاک و وضعیت سنگ بستر تعریف شد.

چندعامله تناسب و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. هدف از تحقیق حاضر، بکارگیری نظریه مجموعه‌های فازی به‌منظور تعیین نواحی مناسب برای عبور مسیر جاده‌های جنگلی به‌کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی است.

### مواد و روشها

منطقه مورد بررسی با مساحتی حدود ۱۲۰۰ هکتار در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان تنکابن در استان مازندران قرار دارد. گستره جغرافیایی آن در محدوده حداقل و حداکثر طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱۸ ثانیه شرقی تا ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی و حداقل عرض ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۱۲ ثانیه شمالی تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه شمالی می‌باشد. منطقه در دامنه ارتفاعی ۵۶۰ تا ۱۲۲۰ متری از سطح دریا واقع شده است.

### داده‌های مورد استفاده

شش لایه نقشه رقومی شامل شیب، جهت جغرافیایی دامنه‌ها، تیپ جنگل، موجودی در هکتار توده‌های جنگلی، تیپ خاک و وضعیت سنگ بستر در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه‌های شیب و جهت با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۸۳ تهیه شدند. سیستم تصویر و شبکه مختصات بکار رفته در این نقشه‌ها UTM و بر مبنای بیضوی WGS\_84 بود. دیگر نقشه‌ها نیز از محل اطلاعات مربوط به طرح تجدیدنظر چهارم جنگلهای منطقه (بی‌نام، ۱۳۷۵) تهیه گردید. با توجه به تغییرات احتمالی در تیپ و حجم سرپای جنگلهای منطقه، نقشه‌های تیپ جنگل و موجودی در هکتار توده‌های جنگلی به‌ترتیب براساس مطالعات سهرابی (۱۳۸۸) و عزیزی (۱۳۸۷) به‌روز رسانی و اصلاح شدند. سپس سیستم تصویر و شبکه مختصات کلیه

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\} \quad \text{رابطه ۱}$$

عضویت‌های جزئی ۱ باشد، کم بودن ضریب پذیرش عضویت جزئی دیگر را جبران می‌نماید، اما اگر عضویت جزئی برابر صفر باشد، نمی‌توان با ضرب آن در مقدار دیگر عضویت جزئی آن را متعادل نمود و همواره مقدار عضویت کلی برابر صفر خواهد بود (Zimmermann & Zysno, 1982). بر این اساس عضویت کلی هنگامی که  $\beta = \gamma - 1$  باشد به صورت میانگین هندسی در می‌آید. این عبارت دو عاملی که قاعده بتا-گاما نامیده می‌شود یکی از قواعد ادغام است که بیشتر اکولوژیست‌ها برای طبقه‌بندی به آن نیاز دارند (Saunders & Miller, 1992). اگر اوزان نرمال شده  $A, B, C, \dots, N$  به متغیرهای  $N$  و  $3$  و  $2$  و  $1$  اختصاص داده شوند، به شکلی که  $A+B+C+\dots+N=1$  در نظر گرفته شود، در این صورت نسخه وزن‌دهی شده قاعده بتا-گاما به صورت رابطه ۲ خواهد بود.

$$\mu = [\mu_1^A \times \mu_2^B \times \mu_3^C \times \dots \times \mu_n^N]^\beta \times [1 - (1 - \mu_1)^A \times (1 - \mu_2)^B \times (1 - \mu_3)^C \times \dots \times (1 - \mu_n)^N]^\gamma \quad \text{رابطه ۲}$$

غیرجبرانی (Non-compensatory combination rule) هستند، برای ادغام نهایی سه مجموعه حاصل، از عملگر حداقل ( $\mu = \mu_1 \mu_2 \mu_3$ ) که در نظریه مجموعه‌های فازی اشتراک مجموعه‌ها نامیده می‌شود و بر مبنای قاعده غیرجبرانی است استفاده شد (Dubis & Prade, 1985; Dubis & Prade, 1988; Sanders & Miller, 1992). این روش طبقه‌بندی بسیار محتاطانه بوده و تنها شاخص‌های غیر قابل قبول را مورد توجه قرار می‌دهد. در این مرحله نقشه طبقه‌بندی شده منطقه براساس مناسب بودن هر قطعه با ابعاد  $10 \times 10$  متر برای عبور مسیر جاده تهیه گردید. در

که در آن  $\mu$  درجه عضویت هر یک از اعضاء (x) مجموعه A می‌باشد.

پس از آن که عضویت‌های جزئی ( $\mu_{A1}$ ), ( $\mu_{A2}$ ), ... و ( $\mu_{A6}$ ) به ترتیب برای نقشه‌های شیب، جهت، تیپ جنگل، موجوی در هکتار توده‌های جنگل، تیپ‌های خاک و وضعیت سنگ بستر محاسبه گردید، باید این اطلاعات به روش مناسبی با همدیگر ترکیب شوند تا عضویت کلی ( $\mu$ ) بدست آید. بکارگیری عملگرهای ترکیب مجموعه‌ها اصولاً بستگی به طرز فکر یا نگرش شخص محقق دارد (Mendoza & Prabhu, 2000b). در ضمن Mendoza & Prabhu (2000a) تکنیک‌های مختلفی را برای ترکیب مجموعه‌ای از چند عامل ارائه نمودند. یکی از روشهای معقول برای ترکیب عضویت‌های جزئی استفاده از میانگین هندسی است (Dubois & Prade, 1985; Dubois & Prade, 1988; Klir & Yuan, 1995; Yager, 1994). این روش دارای ویژگی مهمی است که اگر یکی از

عملگر میانگین هندسی برای شش مجموعه موردنظر در این تحقیق به صورت دو به دو اعمال شد و سه مجموعه فازی جدید که شامل نقشه شرایط توپوگرافی منطقه (حاصل تلفیق نقشه شیب و جهت جغرافیایی دامنه‌ها)، نقشه ویژگی توده‌های جنگلی (نقشه موجودی در هکتار و تیپ و پوشش جنگل) و نقشه ویژگی زمین‌شناسی منطقه (نقشه سنگ بستر و تیپ خاک) بود حاصل شد.

در مرحله بعد با توجه به این که بسیاری از استانداردهای زیست‌محیطی بر مبنای قاعده ادغام

که در آن  $n$ : تعداد طبقات و  $\mu_i$ : درجه عضویت هر طبقه (i) در نقشه فازی نهایی است.

به‌منظور ارزیابی شیوه فازی بکار گرفته شده در طبقه‌بندی منطقه جنگلی مورد مطالعه، پس از محاسبه لگاریتم پایه ۱۰، عضویت‌های جزئی در نقشه نهایی و شاخص آنتروپی متعادل شده محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل‌های فازی از نرم‌افزار Matlab نسخه ۷ استفاده شد.

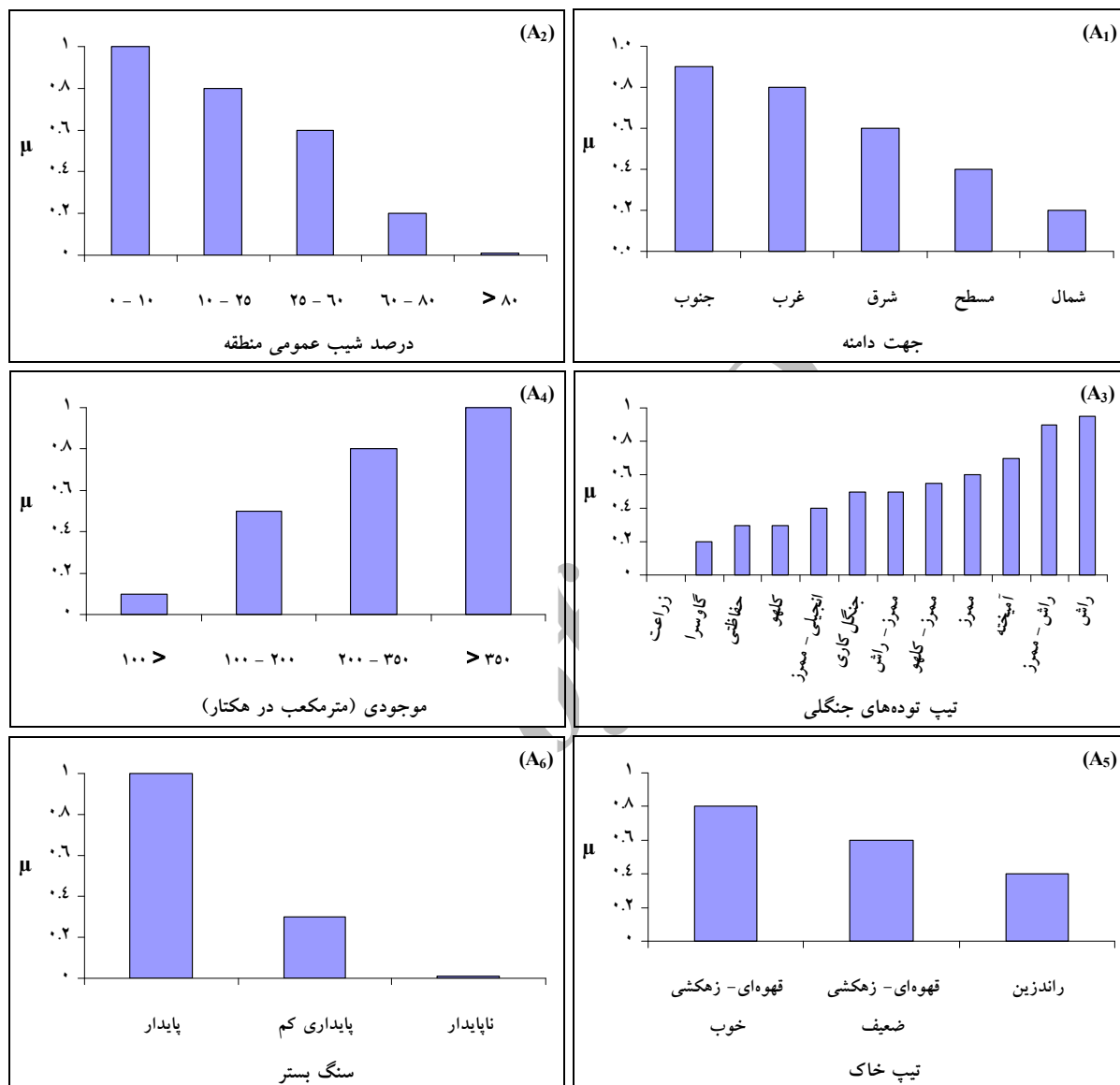
### نتایج

کلیه لایه‌های اطلاعاتی طبقه‌بندی شده در این تحقیق در قالب مجموعه‌های فازی که به‌صورت نمودار در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند، تعریف شدند.

کلیه مراحل یادشده ارزش‌گذاری لایه‌ها و طبقات براساس نظر کارشناسی متخصصان این زمینه صورت گرفت.

در نهایت برای ارزیابی کاربرد منطق فازی در بررسی اثرات اکولوژیک باید سنجشی از این که تا چه اندازه کاربرد منطق فازی در این‌گونه تحقیقات مهم هستند، ارائه شود. در این تحقیق از تکنیکی که (Pielou 1975) ارائه کرده است برای ارزیابی روش بکار رفته، استفاده شد. این تکنیک از شاخص تنوع شانون-وینر مشتق شده و در واقع روشی برای سنجش آنتروپی (عدم قطعیت) است که با اصلاحاتی در روابط ریاضیاتی، آن طوری متعادل شده که مقدار حداکثر آن برابر ۱ شود. بدین صورت شاخص آنتروپی فازی (F) برای مجموعه‌های فازی به شکل رابطه ۳ تعریف شده است.

$$F = \sum \mu_i \cdot \ln \mu_i / \ln n \quad \text{رابطه ۳}$$



شکل ۱- تعریف توابع عضویت جزئی براساس تعریف مجموعه‌های فازی گسسته A1 تا A6 به ترتیب مجموعه‌های تعریف شده برای نقشه‌های شیب، جهت، تپ جنگل، موجودی در هکتار توده‌های جنگل، تپ‌های خاک و وضعیت سنگ بستر می‌باشند)

لایه‌ها براساس قاعده بتا- گاما به شرح جدول ۱ تعریف شد.

ادغام نقشه‌ها با اعمال عملگر میانگین هندسی در ادغام نقشه‌ها که به صورت دو به دو با عملگر میانگین هندسی انجام شد، طبق نظر کارشناسی وزن

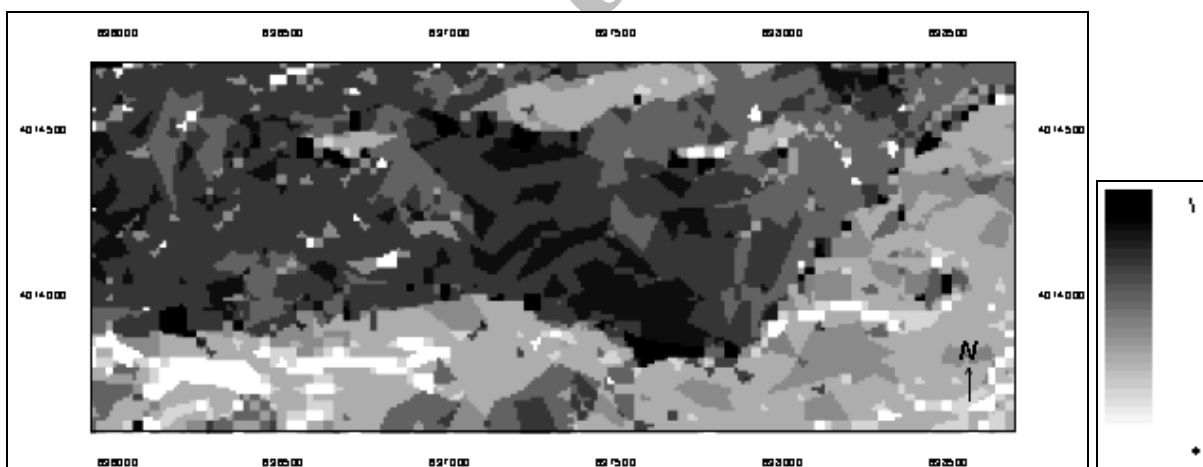
جدول ۱- وضعیت لایه‌ها و وزن‌های آنها در مرحله اعمال عملگر میانگین هندسی

وزن لایه‌ها	لایه‌های اطلاعاتی بکار برده شده	لایه اطلاعاتی حاصل از اعمال عملگر میانگین هندسی
۰/۶	نقشه شیب منطقه	شرایط توپوگرافی منطقه
۰/۴	نقشه جهت جغرافیایی دامنه‌ها	
۰/۶	نقشه موجودی در هکتار	ویژگی توده‌های جنگلی منطقه
۰/۴	نقشه تپ جنگل و وضعیت پوشش	
۰/۶	نقشه سنگ بستر	ویژگی زمین‌شناسی منطقه
۰/۴	نقشه تپ خاک	

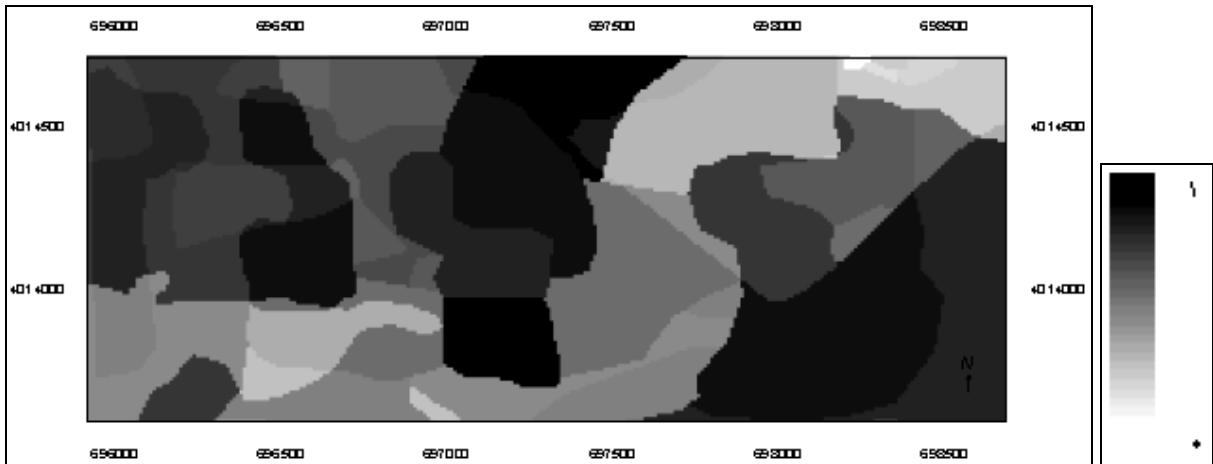
ادغام نقشه‌ها براساس رابطه ۴ انجام شد.

$$\mu = (\mu_{A1}^{0.4} \cdot \mu_{A2}^{0.6})^{0.5} \times (1 - (1 - \mu_{A1})^{0.4} \times (1 - \mu_{A2})^{0.6})^{1.5} \quad \text{رابطه ۴}$$

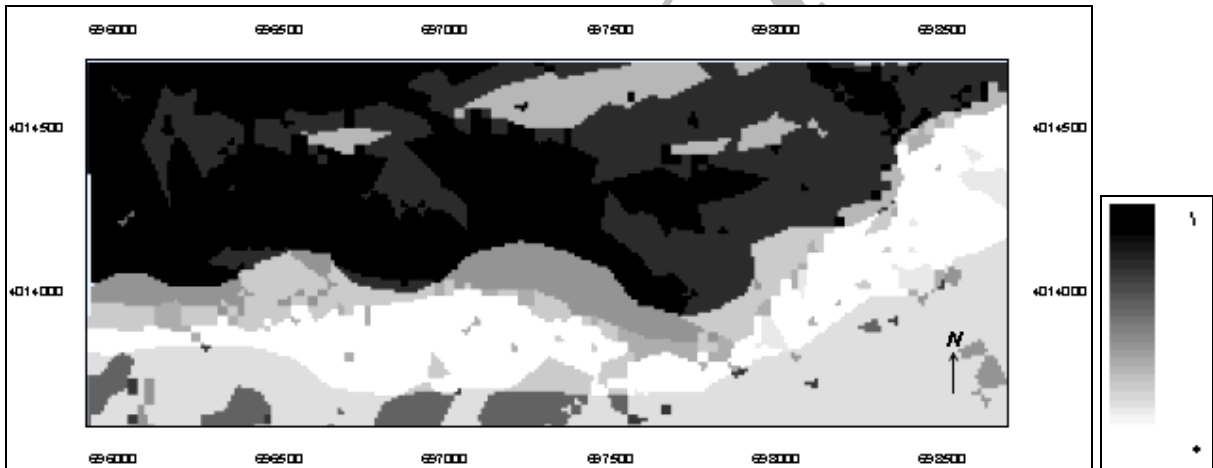
در نتیجه سه لایه اطلاعاتی شامل شرایط توپوگرافی، ویژگی توده‌های جنگلی و ویژگی زمین‌شناسی منطقه حاصل شد (شکل ۲).



الف- شرایط توپوگرافی



ب- ویژگی های توده جنگلی



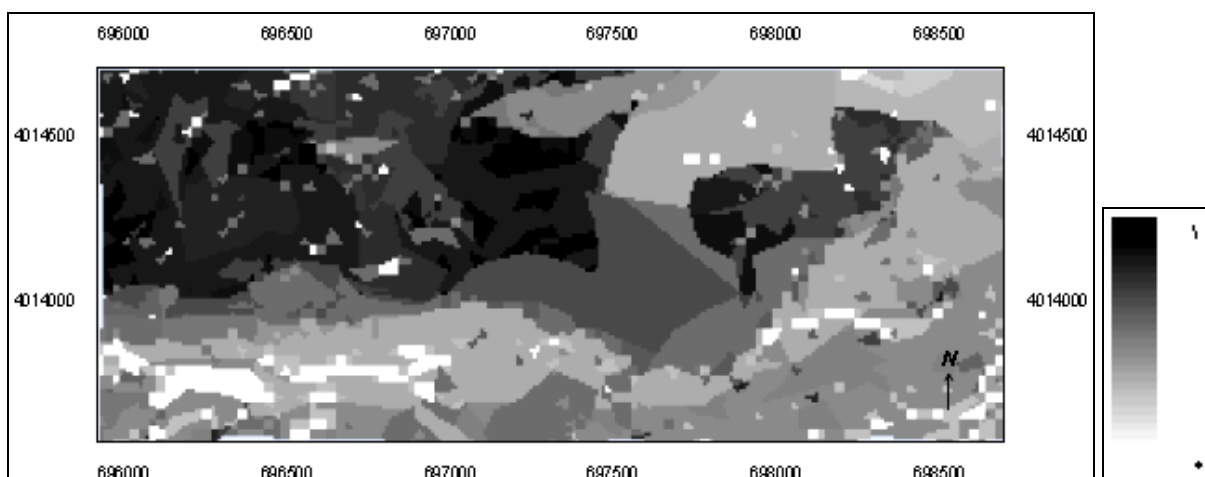
ج- ویژگی زمین شناسی

شکل ۲- لایه های اطلاعاتی پس از اعمال عملگر میانگین هندسی (برای بخشی از منطقه مورد مطالعه)

جاده در محدوده ای از حداقل عضویت جزیی (۰) تا حداکثر عضویت جزیی (۱) قرار دارند. در این نقشه ابعاد هر جزء (پیکسل)  $10 \times 10$  متر می باشد که از ارزش خاصی برخوردار است (شکل ۳).

ادغام نهایی نقشه ها با اعمال عملگر حداقل نقشه نهایی طبقه بندی شده منطقه مورد بررسی که با اعمال عملگر حداقل حاصل شده دارای ۱۵۶ طبقه می باشد که به ترتیب با افزایش مطلوبیت برای عبور مسیر





شکل ۳- نقشه نهایی طبقه‌بندی شده با عملگر حداقل

### ارزیابی روش فازی بکار برده شده

نتایج ارزیابی کاربرد منطق فازی در این مطالعه نشان داد که تنوع طبقات عرصه طبقه‌بندی شده (۱۵۶ طبقه) و شاخص آنتروپی متعادل شده  $0/68$  می‌باشد؛ شایان ذکر است که حداکثر مقدار شاخص مذکور ۱ است.

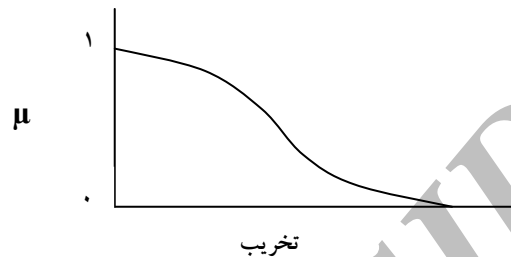
### بحث

#### انتخاب لایه‌های اطلاعاتی و ارزش‌دهی

در طراحی مسیر جاده‌های جنگلی از نکات مهم در حذف پایداری دامنه‌ها و نامناسب بودن عرصه برای عبور جاده وجود رطوبت، ماندن آب در خاک و لغزش لایه‌های فوقانی بر روی لایه‌های غیر قابل نفوذ زیرین است. بر این اساس، هر چه دامنه در جهت آفتاب‌گیرتری باشد، خاک مناسبتر و زهکشی بهتری داشته باشد و از نظر زمین‌شناسی پایدارتر باشد از امتیاز بیشتری برای عبور مسیر جاده برخوردار است. از عوامل مهم دیگر در مسیریابی، شیب دامنه‌هاست که کمتر بودن شیب دامنه به‌هنگام انجام عملیات خاکی و ایجاد دیواره خاکبرداری عاملی برای پایداری بیشتر خاک است. همچنین این پایداری نیاز به ابنیه فنی مانند دیواره‌های نگهدارنده را کاهش می‌دهد. (Tan (1992), Acar (1997) و حسینی و

همکاران (۱۳۸۳) در مطالعات خود برای بررسی جزئیات مؤثر در عبور مسیر جاده، شرایط عوامل مؤثر یادشده را متذکر شدند. در تحقیق حاضر به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه، بیشتر نقاط دارای شیب تقریباً زیاد بوده و دامنه‌ها در جهات مختلف قرار داشتند. وضعیت تیپ‌های خاکی منطقه نشان داد که سهم عمده‌ای از خاک منطقه قهوه‌ای جنگلی می‌باشد که دارای شرایط نسبتاً مناسبی برای عبور مسیر جاده است و محدودیت کمتری را برای عبور مسیر در منطقه ایجاد می‌نماید. اما وضعیت زمین‌شناسی منطقه حکایت از آن داشت که بخشی از منطقه که محل عبور رودخانه نیز می‌باشد از پایداری کمی برخوردار بوده و در برخی قسمت‌ها ناپایدار است. وضعیت تیپ‌های جنگلی نیز محدودیت کمتری را نسبت به موجودی در هکتار منطقه ایجاد می‌نمود، با این حال نوع تیپ جنگل و موجودی سرپا، عوامل مؤثری در تعیین مسیر عبور جاده در نظر گرفته می‌شوند. حسینی و همکاران (۱۳۸۳) و Acar (1997) نیز اذعان داشتند که عبور مسیر جاده از مناطقی که حاصل‌خیزی بیشتر داشته و از موجودی سرپای بیشتری برخوردارند، مناسب‌تر است. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی دامنه‌ها، تیپ جنگل، موجودی در هکتار

نقشه، سطح قابل قبول (درجه عضویت در مجموعه مطلوبیت برای عبور مسیر جاده) به صورت تابع کاهنده‌ای از افزایش تخریب منطقه در نظر گرفته شد (شکل ۴). یعنی افزایش جزیی احتمال تخریب، منجر به کاهش جزیی قابل قبول بودن گردید.



شکل ۴- نمای کلی سطح قابل پذیرش، مفهوم عضویت در مجموعه فازی به صورت تابعی از کل تخریب

**ادغام لایه‌های اطلاعاتی (نقشه‌ها) و طبقه‌بندی عرصه**  
با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه و تنوع زیاد اشکال زمین و به تبع آن ساختار ناهمگن جنگل، طبقه‌بندی عرصه کاری بسیار دشوار و با حساسیت‌های زیست‌محیطی همراه است. بنابراین با بکارگیری همزمان دو روش میانگین هندسی و حداقل در طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه، سعی بر آن بوده که بهترین تلفیق از نقشه‌ها حاصل شود تا ضمن طبقه‌بندی منطقی‌تر عرصه، حساسیت‌های زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گیرد. در تحقیق حاضر، نقشه‌ها با وزن‌های مناسب که نشان دهنده سهم هر لایه برای مناسب بودن عرصه مورد مطالعه برای عبور مسیر جاده است، وزن‌دهی شده و سپس با هم ترکیب شدند. (Mendoza & Prabhu (2000) نیز در مطالعه‌ای برای تعیین معیارهای مؤثر در مدیریت پایدار جنگل از روشی مشابه استفاده نمودند.

#### ارزیابی روش بکار گرفته شده

زمانی که در فرایند طبقه‌بندی با تنوع طبقات مواجه هستیم، تصمیم‌گیری برای انتخاب طبقه یا طبقات مناسب

توده‌های جنگلی، تپ خاک و وضعیت سنگ بستر منطقه مورد مطالعه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، بکارگیری نظریه مجموعه‌های فازی در مسیریابی جاده‌های جنگلی مورد مطالعه قرار گرفت. در تعریف مجموعه‌های فازی و ارزش‌دهی به طبقات مختلف هر

این روش با روش غیرفازی متفاوت است. زیرا تغییرات جزیی اثری بر قابل قبول بودن ندارد، مگر آن که مقدار آن از حد مجاز بگذرد. در روشهای رایج گاهی ممکن است که یک افزایش جزیی منجر به رد یا پذیرش گردد. بنابراین فعالیت‌های متعادل‌سازی در حد یک تصمیم‌گیری کلی به صورت بلی-خیر در خواهد آمد. بکارگیری منطق فازی ما را قادر ساخت که براساس کل جوانب تصمیم‌گیری نماییم، نه این که هر بخش را به صورت مجزا بررسی کنیم. به طور مثال، در روش قدیمی وقتی که یکی از طبقات عرصه دارای شیب بیشتر از حد مجاز تعریف شده باشد (حتی اگر یک مقدار جزیی بیشتر باشد)، با این که تمام ویژگی‌های منطقه مانند موجودی جنگل، خاک منطقه و ... در حد مناسب برای عبور جاده باشند، آن طبقه از طبقات مطلوب حذف شده و به عنوان یک طبقه نامطلوب برای عبور مسیر جاده در نظر گرفته می‌شود.

### منابع مورد استفاده

- بی‌نام، ۱۳۷۵. طرح تجدیدنظر چهارم طرح جنگل‌داری لیره‌سر. اداره کل منابع طبیعی استان مازندران، ۲۰۰ صفحه.
- حسینی، س.ع.، ساریخانی، ن.، سلیمانی، ک.، جلالی، س.غ. و حسینی، س.م.، ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در مسیریابی جاده‌های جنگلی با استفاده از سامانه اطاعات جغرافیایی. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۱): ۷۳-۵۹.
- سهرابی، ه.، ۱۳۸۸. بررسی امکان تهیه نقشه طبقات تراکم تاج‌پوشش و تیپ جنگل در مقیاس ۱:۵۰۰۰ با استفاده از تصاویر هوایی دوربین UltraCamD. سازمان جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۶۶ صفحه.
- عزیزی، ز.، ۱۳۸۷. ارزیابی برآورد حجم سرپای جنگل و تغییرات آن در اثر احداث جاده‌های جنگلی با استفاده از تصاویر IRS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۴۸ صفحه.
- فلاح‌شمسی، ر.، سبحانی، ه.، سعید، ا.، درویش‌صفت، ع. و فرجی‌دانا، ا.، ۱۳۸۵. مکان‌یابی خودکار کاربری زمین با استفاده از ارزیابی چندعامله تناسب سرزمین. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹ (۳): ۶۲۱-۶۱۳.
- کوره‌پزان دزفولی، ا.، ۱۳۸۴. اصول نظریه مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد امیرکبیر، تهران، ۲۶۱ صفحه.
- Acar, H.H., 1997. Preparation of forest transport plans in mountainous region. *Turk Journal of Agriculture*, 21: 201-206.
- Armitage, D., 1995. An integrated methodological framework for sustainable environmental planning and management. *Environmental Management*, 19 (4): 469-495.
- Bojorquez-Tapia L.A., Juarez, L. and Cruz-Bello, G., 2002. Integrating Fuzzy Logic, Optimization, and GIS for Ecological Impact Assessments. *Environmental Management*, 30 (3): 418-433.
- Dubois, D. and Prade, H., 1985. A review of fuzzy set aggregation connectives. *Information Science*, 36: 85-121.
- Dubois, D. and Prade, H., 1988. *Possibility Theory. An approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Plenum Press, New York, 6 p.
- Klir, G.J. and Yuan, B., 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Theory and Application*. Prentice-Hall, London, 573 p.

پیچیده می‌شود. در این رابطه (Silvert 1979) اذعان می‌دارد که هرگاه طبقه‌بندی شامل دامنه‌ای از طبقات شود و طبقات از تنوع زیادی برخوردار باشند، استفاده از منطق فازی ارجح است. در این تحقیق میزان تنوع با استفاده از شاخص آنتروپی محاسبه شد. آنتروپی رابطه تنگاتنگی با عدم قطعیت دارد، زیرا طبقه‌بندی با آنتروپی زیاد نشان دهنده عدم قطعیت زیاد در بیان وضعیت سیستم است که امکان مرزبندی صریح طبقات و تفکیک آنها را به‌درستی امکان‌پذیر نمی‌سازد. در این تحقیق، آنتروپی ۶۸ درصد به معنی عدم قطعیت نسبتاً زیاد در تصمیم‌گیری برای تعیین طبقات مطلوب و نامطلوب است. با توجه به این که در روش بکار گرفته شده در این تحقیق، مرز صریحی برای طبقات مطلوب و نامطلوب وجود ندارد و تغییرات به‌صورت جزئی صورت می‌گیرد، این مزیت را دارد که طراحان جاده‌های جنگلی قادر خواهند بود با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی، دامنه‌ای از طبقات را برای عبور جاده مطلوب در نظر بگیرند و نیازی نباشد که با عدم قطعیت زیاد، طبقات مطلوب و نامطلوب را از هم تفکیک نمایند.

کاربرد نظریه مجموعه فازی در طبقه‌بندی عرصه‌های جنگلی می‌تواند ابزار ارزشمندی در راهبردهای در حال توسعه برای مدیریت تحت خطر باشد. در این مطالعه برای هر جزء از منطقه مورد مطالعه که یک سطح  $10 \times 10$  متر را تشکیل می‌داد یک توصیه علمی فازی ارائه شد که براساس آن هر جزء از عرصه برای عبور مسیر جاده  $X$  درصد مناسب و  $1-X$  درصد نامناسب است که این نتیجه می‌تواند در مدیریت خطر برای تصمیم‌سازی بکار رود. در این زمینه (Yoshimura 1997) برای ارزیابی خطر در مسیریابی جاده‌های جنگلی در جنگلهای کوهستانی ژاپن یک سیستم خبره فازی را بکار گرفت و از این سیستم در تصمیم‌گیری برای تعیین مکان‌های مناسب عبور جاده به‌نحو مطلوبی استفاده نمود.

- of object-oriented knowledge bases. Penn State University, University Park, PA, 11 p.
- Silvert, W., 1979. Symmetric summation: a class of operations on fuzzy sets. *IEEE Trans. System and Cybernetics*, 9: 657-659.
  - Tan, J., 1992. Planning a forest road network by a spatial data handling-network routing system. *Acta Forestalia Fennica 227*, The Society of Forestry in Finland, The Finnish Forest Research Institute, Helsinki, 10 p.
  - Yager, R.R., 1994. Aggregation operators and fuzzy systems modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 67 (2): 129-145.
  - Yoshimura, T., 1997. Development of an Expert System Planning a Forest Road Based on the Risk Assessment. Published by Kyoto university, Kyoto, 82 p.
  - Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information Control*, 8: 338-353.
  - Zimmermann, H.J. and Zysno., P., 1982. Latent connectives in human decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 4: 37-51.
  - Mendoza, G.A. and Prabhu, R., 2000a. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators. *Forest Ecology & Management*, 131: 107-126.
  - Mendoza, G.A. and Prabhu, R., 2000b. Multiple criteria analysis for assessing criteria and indicators in sustainable forest management: A case study on participatory decision making in a Kalimantan forest. *Environmental Management*, 26 (6): 33-53.
  - Pelt Van, M.J.F., Kuyvenhoven, A. and Nijkamp, P., 1995. Environmental sustainability: issues and definition and measurement. *International Journal of Environment and Pollution*, 5 (2/3): 204-223.
  - Pielou, E.C., 1975. *Ecological Diversity*. Wiley Publication, New York, 165 p.
  - Renning, K. and Wiggering, H., 1997. Steps towards indicators of sustainable development: linking economic and ecological concepts. *Ecology Economic*, 20: 25-36.
  - Saunders, M.C. and Miller, B.J., 1999. *Net Weaver TM: A Tool for the construction and maintenance*

Archive of SID

## Fuzzy classification in forest area for road design (Case study: Lirehsar forest, Tonekabon)

Z. Azizi<sup>1</sup> and A. Najafi<sup>2\*</sup>

1- Ph.D. student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

2\* - Corresponding author, Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

E-mail: a.najafi@modares.ac.ir

Received: 13.10.2009

Accepted: 06.04.2010

### Abstract

Classification of forest area for determining optimum places for constructing forest roads has a great importance in protecting and managing of forest. However, high variability in classes introduces uncertainty in classification process. Fuzzy set theory provides some solutions for such problems. The aim of this research is to classify forest area for road construction based on various layers including: slope, aspect, soil, land stability, forest type and volume in Lirehsar forest, Mazandaran Province, by means of fuzzy sets theory. First, partial membership was defined and all layers converted to fuzzy layers. Then, layers were combined by geometrical mean and minimum operators. Assessment of final map showed 68 percent entropy that means an uncertainty in decision making for classification. Therefore, to classify the areas, the fuzzy method was used, since in this method, borders are not explicitly separated and changes occur very minor. The fuzzy method has the advantage that enables forest road network designers to consider the favorable range of classes and there is no need to separate the favorable and unfavorable classes from each other with high uncertainty.

**Key words:** Forest roads, fuzzy set, geometrical mean function, minimum function, entropy.

Archive of SID