فهرست مطالب صفحه

۱-۱- مقدمه و بیان مسئله ۲
۱-۲- فرضیه‌ها ۳
۱-۳- اهداف ۳
۱-۴- تعاریف و مفاهیم ۴
۱-۴-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی ۴
۱-۴-۲- روش ارزیابی چند معیاره(MCE) ۴
۱-۴-۲-۱- رویکرد بولین ۵
۱-۴-۲-۲- منطق فازی ۵
۱-۵- وزندهی فاکتورها برای ترکیب ۶
۱-۵-۱- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۶
۱-۵-۲- روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) ۷
۱-۵-۲-۱- تدوین مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) ۷
۱-۵-۲-۱- محاسبه سوپرماتریس ۷
۱-۶- ترکیب خطی وزندار (WLC) ۸
۱-۷- مدلهای ریاضی ترکیب لایه‌ها ۹
۱-۸- طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای ۹
۱-۸-۱- طبقه‌بندی بدون نظارت ۹
۱-۸-۲-طبقه‌بندی نظارت‌شده ۱۰
۱-۹- روش رندوم فارست(Random Forest) ۱۱
۱-۱۰- تعیین صحت طبقه‌بندی ۱۱
۱-۱۰- ۱- صحت کلی ۱۲
۱-۱۰-۲- ضریب کاپا ۱۲
۲-۱- تحقیقات انجام شده در ایران ۱۶
۲-۲- تحقیقات انجام شده در خارج کشور ۱۸
۳- مواد و روشها ۲۳
۳-۱- منطقه مورد مطالعه ۲۳
۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲۳

فهرست مطالب صفحه

۳-۱-۲ - امکان دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۲۳
۳-۱-۳- پوشش گیاهی منطقه ۲۴
۳-۱-۴ – خاکشناسی ۲۴
۳-۱-۵ - زمین شناسی ۲۵
۳-۲- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۲۷
۳-۲-۲- تهیه پایگاه داده‌ها جهت طراحی جاده بر اساس جنگلداری چند منظوره ۲۷
۳-۳-۱- تهیه نقشه‌های پایه ۳۰
۳-۳-۲- برداشت محدوده منطقه مورد مطالعه با GPS ۳۰
۳-۳-۳- زمین مرجع کردن نقشه‌ها ۳۰
۳-۳-۴- طراحی مسیر جاده ۳۰
۳-۳-۴-۱- شناسایی عوامل موثر در مسیریابی جاده‌ها و روش تهیه نقشه‌های مربوطه ۳۰
۳-۳-۴-۲- نقشه‌های توپوگرافی ۳۰
۳-۳-۴-۳- تهیه نقشه شیب ۳۱
۳-۳-۴-۴- تهیه نقشه جهت جغرافیایی ۳۱
۳-۳-۴-۵- تهیه نقشه فاصله از مناطق لغزشی ۳۱
۳-۳-۴-۶- تهیه نقشه زمین شناسی ۳۲
۳-۳-۴-۸- تهیه نقشه فاصله از نقاط چشم انداز ۳۲
۳-۳-۴-۹- تهیه نقشه آبراهه‌ها ۳۲
۳-۳-۴-۱۰- نقشه فاصله از مناطق روستایی و زمین‌های کشاورزی ۳۳
۳-۳-۴-۱۱- نقشه طبقات ارتفاعی ۳۳
۳-۳-۴-۱۲- نقشه محصولات فرعی ۳۳
۳-۳-۴-۱۳- تهیه نقشه تیپ جنگل ۳۳
۳-۳-۴-۱۳-۱- پیش پردازش و پردازش تصویر ماهواره‌ای ۳۴
۳-۳-۴-۱۳-۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۳۴
۳-۳-۴- ۱۳-۳- نسبت‌گیری ۳۴
۳-۳-۴-۱۳-۴- تجزیه مؤلفه اصلی ۳۵
۳-۳-۴-۱۳-۵- برداشت نمونه‌های تعلیمی ۳۵

فهرست مطالب صفحه

۳-۳-۴-۱۴-۵- طبقه‌بندی تصویر ۳۵
۳-۳-۴-۱۴- تهیه نقشه فاصله از گونه‌های نادر ۳۶
۳-۳-۴-۱۵- تهیه نقشه فاصله از جاده موجود ۳۶
۳-۳-۴-۱۶- تهیه نقشه موجودی سرپا ۳۶
۳-۳-۴-۱۷- تهیه نقشه فاصله از تاسیسات ۳۶
۳-۳-۴-۱۸- تهیه نقشه فاصله از منابع آبی ۳۶
۳-۳-۴-۱۹- تهیه نقشه جنگلکاری ۳۶
۳-۳-۵- استانداردسازی نقشه‌های عامل، آستانه معیارها وشکل و نوع تابع عضویت آنها ۳۷
۳-۳-۶- وزن دهی عوامل با استفاده از روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) ۳۷
۳-۳-۷-۱- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۳۷
۳-۳-۷-۱-۱- ساختن سلسله مراتب ۳۸
۳-۳-۷-۱-۳- روش مقایسه دو به دو ۳۸
۳-۳-۷-۱-۲- محاسبه وزن ۳۹
۳-۳-۷-۱-۴- سازگاری سیستم ۳۹
۳-۳-۷-۲- روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) ۴۰
۳-۳-۸- مقایسه روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) ۴۰
۳-۳-۹- تهیه نقشه قابلیت عبور جاده ۴۱
۳-۳-۱۰- طراحی مسیر پیشنهادی با استفاده از PEGGER در محیط GIS ۴۱
۳-۳-۱۱- ارزیابی مسیر طراحی شده و انتخاب مسیر مناسب ۴۲
۳-۴- تجزیه تحلیل شرایط زمینی با شرایط جاده طراحی شده ۴۳
۴-۱- بررسی و شناسایی عوامل موثر بر مسیریابی جاده‌ها ۴۶
۴-۱- ۱- عوامل ژئومورفولوژیک ۴۶
۴-۱-۱-۱- شیب منطقه مورد مطالعه ۴۶
۴-۱-۱-۲- نقشه جهات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۴۶
۴-۱-۱- ۳- نقشه طبقات ارتفاعی ۴۷
۴-۱-۱- ۴- نقشه فاصله از مناطق لغزشی ۴۸
۴-۱-۱- ۵- نقشه فاصله از شبکه هیدروگرافی ۴۸

فهرست مطالب صفحه

۴-۱-۱- ۶- نقشه زمین‌شناسی ۵۰
۴-۱-۱- ۷- تهیه نقشه خاکشناسی ۵۰
۴-۲- تهیه نقشه عوامل اقتصادی- اجتماعی ۵۱
۴-۲-۱- نقشه فاصله از جاده موجود ۵۱
۴-۲-۲- نقشه فاصله از تاسیسات ۵۲
۴-۲-۳- نقشه فاصله از زمین کشاورزی ۵۳
۴-۲-۴- نقشه فاصله از روستا ۵۳
۴-۲-۵- نقشه موجودی سرپا ۵۴
۴-۲-۶- نقشه فاصله از محصولات فرعی ۵۵
۴-۳- تهیه نقشه عوامل اکوتوریسم ۵۶
۴-۳-۱- نقشه تیپ جنگل با استفاده از داده‌های سنجنده SPOT-HRG ۵۶
۴-۳-۲- نقشه فاصله از مناطق چشم انداز ۵۷
۴-۳-۳- نقشه فاصله از منابع آب ۵۸
۴-۴- تهیه نقشه عوامل اکولوژیکی ۵۹
۴-۴-۱- نقشه فاصله از گونه نادر ۵۹
۴-۴-۲- نقشه فاصله از مناطق جنگلکاری ۵۹
۴-۵- آماده سازی و استانداردسازی عوامل موثر در طراحی جاده بر اساس جنگلداری چندمنظوره ۶۰
۴-۶- نتایج مقایسه روشهای وزندهی تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیـل شبکه‌ای (ANP) ۶۱
۴-۶-۱- نتایج حاصل از تهیه نقشه قابلیت عبور در طراحی جاده جنگلی بر اساس روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۶۲
۴-۶-۲- نتایج حاصل از تهیه نقشه قابلیت عبور در طراحی جاده جنگلی بر اساس روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) ۶۳
۴-۷- ارزیابی جاده طراحی شده و جاده موجود ۶۴
۴-۷-۱- ارزیابی جاده طراحی شده و جاده موجود با روش باکموند ۶۴
۴-۷-۲- بررسی جاده طراحی شده با استفاده از روش درصد پوشش ۶۵
۴-۷-۳- نتایج مربوط به میزان ارتباط جاده طراحی شده با پارسلها ۶۶
۴-۷-۴- مقایسه جاده طراحی شده و جاده موجود از نظر عبور از مناطق چشم انداز ۶۶
۴-۷-۵- قابلیت پیاده کردن جاده در طبیعت ۶۷

فهرست مطالب صفحه

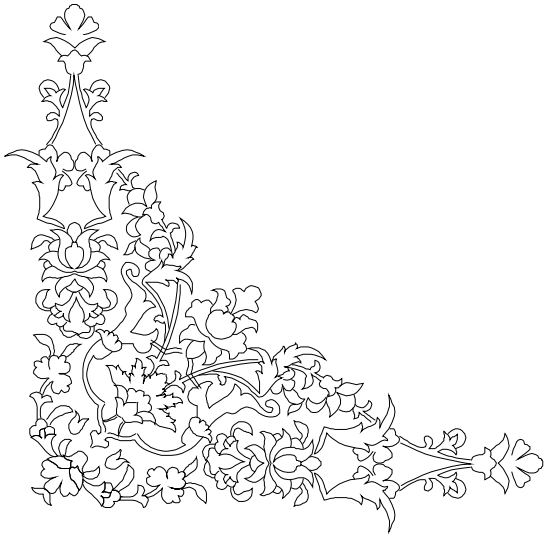
۵- بحث ۷۰
۵-۱- لزوم طراحی مجدد جاده در جنگل دارابکلا ۷۰
۵-۳- ارزیابی کلی نقشه‌های مورد استفاده در این مطالعه ۷۰
۵-۳-۱-عوامل ژئومورفولوژیک ۷۰
۵-۳-۲- عوامل اقتصادی- اجتماعی ۷۱
۵-۳-۳- عوامل اکوتوریسم ۷۲
۵-۳-۴- عوامل اکولوژیکی ۷۳
۵-۴- میزان تاثیر هر یک از عوامل در طراحی مسیر ۷۳
۵-۵- ارزیابی چند معیاره ۷۳
۵-۶- مقایسه نتایج وزن دهی با روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای تعیین مناطق قابل عبور ۷۴
۵-۷- مقایسه جاده طراحی شده و جاده موجود ۷۵
۵-۸- استفاده از قابلیت‌های GIS در پیش‌بینی مسیر جاده ۷۵
۵-۹- پیشنهادات ۷۶
منابع ۷۹

عنوان جدول	صفحه
جدول۱-۱- خصوصیات مداری ماهواره SPOT	۸
جدول ۱-۲- مشخصات سنجنده‌های ماهواره SPOT	۹
جدول ۱-۳- مشخصات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه	۲۶
جدول۳ -۲ - مواد ونقشه های های مورد استفاده	۲۸
جدول۳- ۲- شاخص های گیاهی مورد استفاده در این مطالعه	۳۴
جدول۳-۳: جدول مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی	۳۸
جدول ۴-۱- مساحت و مساحت نسبی هر کدام از طبقات شیب	۴۵
جدول۴-۲ - مساحت و مساحت نسبی هر کدام از جهت‌های جغرافیایی	۴۶
جدول ۴-۳- نتایج بررسی نقشه فاصله از مناطق لغزشی	۴۶
جدول ۴-۴ - رتبه‌بندی آبراهه‌ها	۴۷
جدول ۴-۵- فاصله از شبکه هیدروگرافی	۴۸
جدول ۴-۶- مساحت و مساحت نسبی زمین شناسی	۴۸
جدول ۴-۷- مساحت و مساحت نسبی خاکشناسی	۴۹
جدول ۴-۸- ماتریس خطای طبقه بندی، صحت کلی و ضریب کاپا مربوط به طبقه‌بندی تیپ	۵۰
جدول ۴-۹- مساحت و مساحت نسبی تیپ جنگلی	۵۱
جدول ۴-۱۰- مساحت و مساحت نسبی نقشه فاصله از مناطق چشم انداز	۵۲
جدول۴-۱۱- مساحت و مساحت نسبی نقشه فاصله از جاده موجود	۵۳
جدول ۴-۱۲- مساحت و مساحت نسبی نقشه فاصله از تاسیسات	۵۳
جدول ۴-۱۳ - مساحت و مساحت نسبی نقشه فاصله از زمین کشاورزی	۵۴
جدول ۴-۱۴- مساحت و مساحت نسبی فاصله از روستا	۵۵
جدول ۴-۱۵- مساحت و مساحت نسبی موجودی سرپا	۵۵
جدول ۴-۱۶- مساحت و مساحت نسبی فاصله از منابع آبی	۵۶
جدول ۴-۱۷ - مساحت و مساحت نسبی فاصله از محصولات فرعی	۵۷
جدول ۴-۱۸- مساحت و مساحت نسبی فاصله از گونه نادر	۵۷
جدول ۴-۱۹- مساحت و مساحت نسبی طبقات ارتفاعی	۵۸
جدول ۴-۲۰ - مساحت و مساحت نسبی نقشه فاصله از جنگلکاری	۵۹
جدول ۴-۲۱ - نقشه های عامل، آستانه معیارها وشکل و نوع تابع عضویت آن‌ها	۵۹
جدول ۴-۲۲- مساحت ومساحت نسبی نقشه قابلیت عبور بر اساس روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	۶۲
جدول ۴-۲۳- مساحت و مساحت نسبی نقشه قابلیت عبور جاده در منطقه	۶۳
جدول۴-۲۴- بررسی جاده موجود و طراحی شده	۶۴
جدول ۴-۲۵- براورد جاده طراحی شده بر روی نقشه قابلیت عبور به دست آمده از روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	۶۴
جدول ۴-۲۶- برآورد جاده طراحی شده بر روی نقشه قابلیت عبور به دست آمده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)	۶۵
جدول ۴-۲۷- بررسی میزان نفوذ جاده طراحی شده در بین تیپ‌های جنگلی	۶۶
جدول۴-۲۸- بررسی میزان ارتباط جاده طراحی شده و فعلی با کل پارسل‌ها	۶۷

عنوان شکل	صفحه
شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه درکشور ایران (الف)، استان مازندران (ب) منطقه مورد مطالعه(ج)	۲۲
شکل ۳–۲- مراحل طراحی مسیر جاده	۲۹
شکل ۳-۳- شبکه آماربرداری با ابعاد ۶۰۰ ×۵۰۰ متر برای تعیین تیپ توده	۳۵
شکل ۳-۴-مقایسه بینAHP و ANP	۴۰
شکل ۴-۱ - نقشه جنگل دارابکلا همراه با جاده موجود	۴۴
شکل ۴-۲- نقشه طبقات شیب	۴۵
شکل ۴-۳ - نقشه جهت‌های جغرافیایی	۴۵
شکل ۴-۴- نقشه فاصله از نقاط لغزشی	۴۶
شکل ۴-۵- نقشه شبکه آبراهه‌ها	۴۷
شکل ۴-۶- نقشه فاصله از هیدروگرافی	۴۷
شکل ۴-۷ - نقشه رقومی و تفکیکی مناطق از لحاظ ساختار زمین شناسی	۴۸
شکل ۴-۸- نقشه رقومی سازی خاکشناسی	۴۹
شکل ۴- ۹ درخت حاصل ازطبقه‌بندی رندوم فارست	۵۰
شکل ۴-۱۰ - نقشه تیپ تهیه شده با استفاده از داده‌های سنجنده SPOT-HRG	۵۱
شکل ۴-۱۱- نقشه فاصله از مناطق چشم انداز	۵۲
شکل ۴-۱۲- نقشه فاصله از جاده موجود	۵۲
شکل ۴-۱۳- نقشه فاصله از تاسیسات	۵۳
شکل ۴-۱۴ - نقشه فاصله از زمین کشاورزی	۵۴
شکل ۴-۱۵- نقشه فاصله از روستا	۵۴
شکل ۴-۱۶ - نقشه موجودی سرپا	۵۵
شکل ۴-۱۷- نقشه فاصله از منابع آبی	۵۶
شکل ۴-۱۸ - نقشه فاصله از محصولات فرعی	۵۶
شکل۴-۱۹- نقشه فاصله از گونه نادر	۵۷
شکل ۴-۲۰- نقشه طبقات ارتفاعی	۵۸
شکل ۴-۲۱- نقشه جنگلکاری	۵۸
شکل ۴-۲۲- مقایسه روش‌های وزن‌دهی AHP وANP	۶۱
شکل۴-۲۳- نقشه قابلیت عبور بر اساس روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	۶۲
شکل۴-۲۴- نقشه قابلیت عبور بر اساس تحلیل شبکه‌ای (ANP)	۶۲
شکل ۴-۲۵- جاده موجود و سطح تحت پوشش آن در سطح منطقه	۶۳
شکل۴-۲۶- جاده طراحی شده و سطح تحت پوشش آن در سطح منطقه	۶۴
شکل ۴-۲۷-نقشه جاده طراحی شده بر روی نقشه قابلیت عبور به دست آمده از روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	۶۴
شکل ۴-۲۸-نقشه جاده طراحی شده بر روی نقشه قابلیت عبور به دست آمده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)	۶۵
شکل۴-۲۹- جاده طراحی شده بر روی نقشه تیپ توده	۶۶
شکل۴-۳۰- نقشه میزان ارتباط جاده طراحی شده با پارسل‌های منطقه مورد مطالعه	۶۷
شکل ۴-۳۱- مقایسه جاده طراحی شده و جاده موجود از نظر عبور از مناطق چشم انداز	۶۸
شکل ۴ – ۳۲- نقشه قابلیت اجرایی بودن جاده طراحی شده در طبیعت	۶۸

فصل اول

مقدمه و کلیات



۱-۱- مقدمه و بیان مسئله

جنگل‌ها دارای خدمات اکوسیستمی بسیار زیادی می‌باشند. این خدمات شامل ، حفاظت از تخریب خاک، تولید چوب، و غیره می‌باشد. از اینرو امروزه به‌جای دیدگاه غالب مبتنی بر تولید چوب، بحث مدیریت چند منظوره جنگل‌ها رو به گسترش می‌باشد. این شیوه مدیریت شامل در نظر گرفتن مسائل اکوتوریسم، اکولوژی، مسائل اقتصادی و اجتماعی جنگل‌نشینان و ... می‌باشد و اهداف متعددی علاوه بر تولید چوب را در برنامه‌ریزی مورد توجه قرار می‌دهد (امانی، ۱۳۷۹). در نتیجه ، با تکامل دیدگاه غالب مبتنی بر تولید چوب نسبت به جنگل به نگاه چند بعدی تولیدات جنگل و با توجه به بالا بودن بازده صنعت اکوتوریسم و داشتن استعداد این صنعت در جنگل می‌توان بیان داشت که با استفاده از این روش نوین و ارزش نهادن به حفظ منظر در طراحی مسیرها و مسائل اکولوژیکی بتوان از این پتانسیل جنگل نیز استفاده بیشتری نمود. شبکه جاده جنگلی، به عنوان مهمترین عامل تقسیم‌بندی جنگل به واحدهای برنامه‌ریزی و حمل و نقل مواد و افراد، و همچنین برای بهره‌برداری چوب‌آلات و دیگر فعالیت‌های مدیریتی، اهمیت زیادی دارد. جاده‌های جنگلی نقش اساسی در مدیریت، حفاظت و احیاء جنگل‌ها دارند و امکان دستیابی به تحقیق، تفریح و یا تفکر در اکوسیستم‌های طبیعی را فراهم می‌آورند (سلیمان‌پور، ۱۳۸۹). امروزه در طراحی جاده‌های جنگلی نیازهای چندگانه‌ای علاوه بر حمل ونقل چوب در نظر گرفته می‌شود. این نیازها بعنوان مثال شامل: حفظ تنوع زیستی، حفظ پایگاه‌های زیستی گونه‌های در معرض خطر، حفظ ماهیت نواحی حفاظتی، شکارگاه، ماهیگیری و دیگر تفریح‌گاههای محلی و نیازهای اقتصادی- اجتماعی و نماسازی می‌باشند (ساریخانی، ۱۳۷۸). جنگل‌های شمال کشور به صورت یک نوار باریک به عرض ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر در نیم‌رخ شمالی البرز واقع شده‌اند (مهاجر، ۱۳۸۴). این جنگل‌ها تا ارتفاع تقریبی ۲۳۰۰ متری بالا می‌روند و دارای سه خصوصیت ویژه شامل: شکل نواری، کوهستانی و دارای ترکیبی از گونه‌های صرفا پهن‌برگ می‌باشد. در این بین نواری و کوهستانی بودن جنگل‌های شمال، هزینه‌های جاده سازی، بهره-برداری و حمل و نقل را افزایش می‌دهد. شبکه جاده موجود در جنگل دارابکلا طبق دیدگاه تولید چوب و شیوه پناهی و با استفاده از روش‌های سنتی و ظاهرا با در نظر گرفتن شیب و هیدروگرافی طراحی شده است. از آنجاییکه در یک جنگلداری چند منظوره، فقط بحث تولید چوب مطرح نمی باشد، و به جای حداکثر فاصله چوبکشی، بحث حداکثر فاصله دستیابی مطرح می شود که در واقع مبین دسترسی بیشتر به سطح جنگل جهت اهداف مختلف از جمله تفرج گسترده می باشد (مجنونیان، ۱۳۸۳). از این‌رو طراحی چندمنظوره شبکه جاده جنگلی امری حیاتی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در جنگل می‌باشد. طراحی جاده‌ها با استفاده از روش‌های سنتی بسیار وقت‌گیر، پرهزینه و دارای خطای زیاد می‌باشد. از طرفی با گسترش تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، علاوه برکاهش زمان و هزینه

جهت طراحی جاده، امکاناتی را برای استفاده از عوامل تاثیرگذار بیشتری در طراحی جاده فراهم نموده است (عبدی، ۱۳۸۴). از جمله روش‌های معمول در مکان‌یابی بهترین نقاط برای عبور جاده بهره گیری از منطق بولین و در نظر گرفتن تمام شرایط مناسب و سپس اعمال آنها بر روی نقشه‌ها می باشد. چنین روشی که تنها به بررسی احراز یا عدم احراز شـــــرایط مناسب در مکان‌ها می‌پردازد، با وجود برتری نسبت به روش های دستی و سنتی، محدودیت‌های بسیاری نیز درخود دارد. از جمله اینکه روش مذکور، تأثیرات متقابل شرایط را در نظر نمی‌گیرد، در آن اهمیت تمامی شرایط یکسان است و نیز هیچ تقدم و تأخری برای گزینه‌های به دســـت آمده حاصل نمی‌گردد. علاوه بر این در اکثر مطالعات از روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی استفاده می‌شود. در این روش ارتباط عناصر تشکیل دهنده مدل یک‌طرفه می‌باشد و اثرات متقابل بین معیارها و زیرمعیارهای هر معیار در این روش در نظر گرفته نمی‌شود. از اینرو در این مطالعه علاوه بر روش تحلیل سلسله مراتبی، روش تحلیل شبکه‌ای نیز برای وزن‌دهی لایه‌ها استفاده شد. هدف از این مطالعه طراحی شبکه جاده جنگلی بـر اساس جنگلداری چنـد منظوره، با استفاده از تکنیک GIS و داده‌های سنجنده SPOT- HRG۱ در جنگل دارابکلا می‌باشد. ضرورت این مطالعه، بکارگیری عوامل و شرایط اقتصادی– اجتماعی، ژئومورفولوژیکی، اکولوژیکی و اکوتوریسم در طراحی شبکه جاده جنگلی است(بر مبنای اهداف جنگلداری چند منظوره) تا مدیریت جنگل از همه ابعاد و امکانات موجود در عرصه و به طور بهینه استفاده و بهره برداری نماید. این تحقیق در صورت رسیدن به نتایج مطلوب و با دقت بالا می تواند در مدیریت پایدار جنگل مفید واقع شود.

۱-۲- فرضیه‌ها

۱- جاده طراحی شده بر اساس جنگلداری چندمنظـــوره دارای مسیر متفاوتی با جاده موجود می‌باشد.

۲- شبکه جاده طراحی شده نسبت به جاده موجود از نظر درصد پوشش و ایجاد منظر دارای قابلیت بیشتری است.

۱-۳- اهداف

۱- طراحی شبکه جاده بر اساس دیدگاه جنگلداری چند منظوره

۲- مقایسه جاده موجود (فعلی) و جاده طراحی شده

[1] Satellite poure I’observation de la terre-1 (SPOT)

۳- مقایسه نقشه قابلیت عبور حاصل از روش تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)[2]

۱-۴- تعاریف و مفاهیم

۱-۴-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی

سیستم اطلاعات جغرافیایی با امکانات ویژه‌ای چون سرعت و دقت، ورود و خروج اطلاعات و نقشه‌ها از سیستم‌های دیگر، امکان آنالیز و تلفیق چند متغیره، امکان برنامه نویسی، تهیه‌ی بانک‌های اطلاعـــاتی داده‌های مکانی، آنالیز واحدهای همسایگی و پیوستگی، درون‌یابی، مسیریابی و ..... از مهمترین سیستم‌های طراحی شده در سال‌های اخیر می‌باشد که پیاده‌سازی تکنیک‌های پیشرفته و پیچیده‌ی برنامه‌ریزی را در کوتاهترین زمان ممکن میسر ساخته است. ابزاری که می‌تواند در بروز نگه‌داشتن داده‌ها و سامان‌دهی و ذخیره‌ی آنها کمک کند و در عین حال دسترسی سریع و آسان به آنها را در تمام لحظات فراهم نماید. پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی تکنولوژی اطلاعات، در فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، فرصت‌های زیادی را برای ارزیابی راهبردهای جدید وابسته به پردازش رایانه‌ای داده‌های جغرافیایی، مدیریت داده‌ها، تحلیل داده‌ها، ساخت سناریوهای مختلف و آماده کردن داده‌ها فراهم کرده است. به وسیله‌ی این پیشرفت‌ها، راه حل‌های کارآمدتری برای مسائل مختلف وابسته به فضا شامل آنهایی که با موضوعات برنامه‌ریزی مرتبط هستند، امکان‌پذیر شده است (لودین و همکاران[3]، ۲۰۰۶).

۱-۴-۲- روش ارزیابی چند معیاره[4](MCE)

-این روش تجزیه و تحلیل‌های پیچیده را به منظور انجام بر روی حجم زیادی از معیارهای متفاوت ممکن می‌سازد.

-روش فوق قضاوت‌های ارزشی را به منظور یکپارچه کردن در تحلیل، بوسیله‌ی وزن‌دهی فاکتورها ممکن می‌سازد.

-روش ارزیابی چند معیاره یک چارچوب سیستماتیک برای تحلیل فراهم می‌کند.

-همچنین این روش همه‌ی مزیت‌های استفاده از یک پایگاه داده‌ی GIS را دارا می‌باشد (کرور و اوپن شو[1]، ۱۹۹۲).

[1] Analytical Hierarchy process
[2] Analytical Network Process
[3] Ludin et al
[4] Multi-Criteria Evaluation

روش ارزیابی چند معیاره[2](MCE) یک روش عمومی برای ارزیابی و جمع‌بندی بسیاری از معیارها و شامل یک سری از تکنیک‌ها (از جمله وزن‌ها یا تحلیل‌های همگرایی) می‌باشد که در آن طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث امتیازدهی و وزن‌دهی شده و سپس بوسیلـــــه‌ی کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی می‌شود. این روش پتانسیل زیادی را به منظور کاهش هزینه و زمان و بالا بردن دقت در تصمیم‌گیری‌های فضایی، دارا می‌باشد. مخصوصاً هنگامی‌که این روش با GIS تلفیق شده و مدلی یکپارچه را تشکیل دهد، این پتانسیل چند برابر می‌شود. شناسایی و توسعه معیارها اولین مرحله در فرایند MCE که در آن در دو نوع لایه اطـلاعـاتی به نام‌های لایه‌های بولین (Boolean)[3] و لایه‌های فازی (Fuzzy)[4] تهیه می‌شود. لایه‌های بـــولین دارای ارزش‌های صفر و یک هستند و نشان‌دهنـــــده محدودیت‌های قطعی می‌باشند، در حالی که لایه‌های فازی و شبه آن دارای دامنه‌ای از اعدادند و نشان‌دهنده امکان برقراری شـــــرط‌های مختلف با درجات متفاوت می‌باشند.

۱-۴-۲-۱- رویکرد بولین

اولین روشی که برای حل مساله MCE مورد استفاده قرار می‌گیرد، رویکرد بولین است تمام معیارها (محدودیت‌ها و فاکتورها) به ارزش‌های بولی (۰و۱) استاندارد شده و روش ترکیب‌شان هم اشتراک بولی (ضرب معیارها) خواهد بود. این روش، رایج‌ترین روش برآورد معیارهای چندگانه در GIS است. این منطق، اساساً نگرشی دو ارزشی به قضایـــا دارد: بود یا نبود، هست یا نیست، درست یا غلط. در منطق بولین نمی‌توان حالتی را تصور کرد که چیزی هم باشد و هم نباشد، هم درست باشد و هم غلط باشد. حالت بینابینی وجود ندارد. چنین تقسیم‌بندی دو ارزشی مسلماً نیازمند تعریف مرزهای مشخصی است که بتوان بر اساس آن مصادیق را مرزبندی کرد. مدل منطقی بولین ساده‌ترین روش ترکیب لایه‌ها در GIS است. ترکیب لایه‌ها در این روش بر مبنای منطق صفر و یک (باینری) بوده و خروجی نهایی مدل یک نقشه با دو کلاس کاملاً مناسب (کلاس یک) و کاملاً نامناسب (کلاس صفر) می‌باشد. این مدل دارای انعطاف‌پذیری پایین و برخوردی توأم با قطعیت است.

۱-۴-۲-۲- منطق فازی

این نظریه برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی پروفسور لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که مبهم هستند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم

[1] Carver and Openshow
[2] Multi-Criteria Evaluation
[3] Boolean
[4] Fuzzy

اطمینان فراهم آورد. درجه عضویت پذیری، اجتماع و اشتراک، متمم، ضرب، جمع، گاما توان‌های اساسی این مدل تلفیق محسوب می‌شوند برای ایجاد لایه‌ها و مجموعه‌های فازی می‌توان توابع ریاضی چون آستانه خطی[1]، سیگموئیدال S شکل[2]، هایپربولیک...را به کار برد. بدیهی است که جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های دقیق برای توصیف رفتار سیستم‌های واقعی و عوارض مکانی که نزدیکی بیشتری به واقعیت داشته باشد کاری بسیار مشکل می‌باشد. از این رو مدل‌سازی دقیق ریاضی، با افزایش پیچیدگی سیستم‌ها غیرممکن می‌شود. محاسبات فازی پاسخی برای مسائل پیچیده امروز است. روش فازی این مزیت را دارد که طراحان جاده 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 نا مطلوب را از هم تفکیک نمایند. طبقه‌بندی عرصه‌های جنگلی به دلیل تنوع طبقات اغلب با مشکل عدم قطعیت مواجه است. نظریه مجموعه‌های فازی، روشی برای حل اینگونه مشکلات ارائه می‌دهد. در طبقه‌بندی اکوسیستم بر اساس یک هدف خاص، مجموعه‌های فازی 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.

۱-۵- وزن‌دهی فاکتورها برای ترکیب

۱-۵-۱- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار توسط ساعتی۳ (ساعتی، ۱۹۸۰) ابداع گردید (کتابی و همکاران، ۱۳۸۴). AHP به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و در زمینه‌های مختلفی از جمله مدیریت منابع طبیعی بیشترین محبوبیت را نسبت به روش‌های دیگر دارد (کانگاس۴، ۱۹۹۲). در مدیریت جنگل‌ها نیز بیشترین کارایی را دارد و شمار کاربردهای آن همچنان در حال افزایش است (رینالد۵، ۲۰۰۱). روش AHP همچنین منافع زیادی از نظر استفاده‌های چندمنظوره و برنامه‌ریزی مشارکتی دارد. با استفاده از AHP اطلاعات دقیق، دانش متخصصان و ترجیحات موضوعی می‌توانند با هم تلفیق شده و مورد بررسی قرار گیرند و معیارهای کیفی به مانند معیارهای کمی مورد ارزیابی قرار گیرند (ساعتی، ۱۹۷۷).

[1] Linear Functions
[2] Sigmoidal Functions
3. Saaty
4. Kangas
5. Reynolds

۱-۵-۲- روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) از اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پیروی می‌کند و از توسعه روشAHP به وجود آمده است که امکانات گسترده‌تری را برای تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده فراهم می‌نماید. در این روش نیز ابتدا یک سلسله مراتب برای شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها و گزینه‌ها، طرح و ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد. از ویژگیهای این روش موارد زیر را می‌توان برشمرد: امکان ترسیم سلسله مراتب به صورت گره[1] و خوشه یا دسته[2] و ارتباط دادن منطقی آنها به یکدیگر، امکان ایجاد زیر شبکه[3] برای برخی از شاخص‌های مهم و انجام مقایسات زوجی در داخل زیر شبکه، حل مسئله به روش سوپر ماتریکس[4] و تلفیق نتایج زیر شبکه با سطوح بالاتر سلسله مراتب، امکان تصمیم‌گیری با تقسیم کردن شاخص‌ها به سودها، هزینه‌ها، موقعیت‌ها و ریسک‌ها و ایجاد زیر شبکه برای هر یک از موارد فوق، انجام تحلیل معکوس از وزن‌های هزینه‌ها و ریسک‌ها، ارایه فرمول مناسب برای حل مسئله.

۱-۵-۲-۱- تدوین مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP)

ساخت مدل ANP مستلزم شناخت مسئله، تعریف معیارها و زیر معیارها و تبیین روابط و اثرهای متقابل آنهاست (ولفنر و همکاران، ۲۰۰۵). حل مسائل به کمک شبکه، تا حد زیادی به هنر مدل‌ساز بستگی دارد و تشکیل این ساختار از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند، از این رو، حل هر مسئله پیچیدگی خاص خود را دارد (قدسی‌پور، ۱۳۸۸). مدل شبکه‌ای تصمیم‌گیری، بر ارتباطات یک‌طرفه و اثرات متقابل بین معیارها و زیرمعیارهای هر معیار استوار است. بر خلاف فرایند سلسله مراتبی (AHP) که ارتباط عناصر تشکیل دهنده مدل یک‌طرفه است، در فرایند تحلیل شبکه‌ای یک عنصر از مدل بر عنصر یا عناصر دیگر و حتی بر خود اثر گذار است و ممکن است از دیگر عناصر نیز تاثیر بپذیرد، به عبارت دیگر مسئله از حالت خطی خارج و در قالب غیر خطی یا شبکه‌ای نمود می‌یابد (ساعتی، ۲۰۰۱).

۱-۵-۲-۱- محاسبه سوپرماتریس

در مدل ANP محاسبات مربوط به سوپرماتریس‌ها در سه مرحله انجام می‌گیرد. ابتدا مقادیر وزن محاسبه شده برای تمام مقایسات زوجی به ماتریسی که در اصطلاح سوپرماتریس فاقد وزن نام دارد، وارد می شود. در مرحله بعد سوپرماتریس دارای وزن از حاصلضرب مقادیر سوپرماتریس فاقد وزن در مقادیر متناظر

[1] Node
[2] Cluster
[3] Sub network
[4] Super matrix

ماتریس مقایسه‌های معیارها محاسبه می شود. سپس مقادیر ماتریس وزن داده شده استاندارد می شود، به طوری که مجموع مقادیر ستون‌های ماتریس برابر عدد یک شود. در مرحله سوم و آخر، سوپرماتریس حد که در آن مقادیر ماتریس در ستون ها با هم برابر است، محاسبه می شود (ساعتی[1]، ۲۰۰۱). ساعتی با استفاده از ماتریس‌های احتمالی و زنجیره‌های مارکف اثبـات کرد که وزن نهایی از رابطه زیر به دست می‌آید (قدسی‌پور، ۱۳۸۸).

w:ماتریس حد(وزن نهایی)

$$W= \lim_{k \to \infty} w2\ k+1$$

W: ماتریس استاندارد وزن داده شده

۱-۶- ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)[2]

روش ترکیب خطی وزن‌دار رایج ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چند معیاری است. این تکنیک روش ساده وزن‌دهی جمع‌پذیر و روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر یا تصـــــمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای" اهمیت نسبی " هر معیار، وزن‌هایی به معیارها می دهد سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو بدست می آید. پس از آن‌که مقدار نهایی هر آلترناتیو مشخص شد آلترناتیوی که بیشترین مقدار را داشته باشد مناسب‌ترین آلترناتیو برای هدف موردنظر خواهد بود. یکی از مزیت‌های روش WLC، توانایی آن در اختصاص وزن‌های نسبی متفاوت به هر یک از فاکتورها در فرآیند ترکیب است. وزن فاکتورها که گاهی با نام وزن جایگزینی (جبران) نیز خوانده می شود به تمام فاکتورها اختصاص می‌یابد. این وزن‌ها اهمیت یک فاکتور را در مقابل سایر فاکتورها نشان می‌دهند و چگونگی جبران و جایگزینی فاکتورها با هم را کنترل می‌کنند. در مورد WLC (جایی که فاکتورها به طور کامل جایگزین هم می‌شوند) فاکتورهای با مطلوبیت بالا در یک موقـــــعیت می‌توانند جای فاکتورهای با وزن پایین در همان موقعیت را پر کنند. درجه‌ای که یک فاکتور با دیگری تعـــویض می‌گردد توسط وزن فاکتور یا وزن جبران برآورد می‌گردد. پردازش WLC امکان جایگزینی کامل بین فاکتورها را فراهم می‌کند. اما، مقدار جایگزینی هر فاکتور با دیگری بر اساس وزن فاکتور برآورد می‌گردد. این روش امکان استانداردسازی معیارها در ساختاری پیوسته را فراهم می‌کند و لذا اطلاعات مهم درباره درجه مطلوبیت را حفظ می‌نماید. ضمن آنکه امکان اختصاص وزن‌های متفاوت را به فاکـــــتورها می‌دهد که این کار منجر به جبران فاکتورها با هم می‌شود.

[1] Saaty
[2] Weighted Linear Combination

۱-۷- مدل‌های ریاضی ترکیب لایه‌ها

مدل یک موضوع یا یک مفهوم است که برای نمایش پدیده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اصل مقیاس کوچکی از واقعیت است و به صورتی تبدیل شده است که قابل فهم برای ما باشد. یک مدل ممکن است دارای اهداف خاص مثل پیش‌بینی، پهنه‌بندی، مکان‌یابی و ... باشد. معمولا هر چه عوامل بیشتری در ارائه یک مدل دخیل باشند دقت مدل بالاتر خواهد بود و همچنین بر پیچیدگی مدل هم افزوده خواهد شد. بهترین مدل، مدلی است که با کمترین تعداد عامل، بهترین نتیجه را ارائه نماید (آل شیخ، ۱۳۸۰). در طراحی شبکه جاده بر اساس جنگلـداری چند منظوره از هجده لایه استفاده شد. مدل‌های به کار رفته در این تحقیق عبارتند از: مدل منطق فازی، مدل تجزیه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP).

۱-۸- طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای

یکی از مهمترین و پرکاربردترین تکنیک‌ها در پردازش داده‌های ماهواره‌ای به منظور مطالعه پوشش‌های گیاهی و بخصوص تهیه نقشه تیپ‌های گیاهی، انجام طبقه‌بندی تصاویر ماهـــواره‌ای می‌باشد. طبقه‌بندی به تشخیص و تفکیک گروه‌هایی از پیکـــسل‌ها که دارای اعداد رقومی نزدیک به یکدیگر می‌باشند گفته می‌شود. اعداد رقومی با این فرض که هر دسته از پیکسل‌های مشابه معرف یک پدیده (طبقه) می‌باشند، بر اساس تشابه و نزدیکی خصوصیات طیفی‌شان دسته‌بندی می‌گردند. طبقه‌بندی پیکسل‌ها را می‌توان به دو صورت نظارت شده و بدون نظارت انجام داد.

۱-۸-۱- طبقه‌بندی بدون نظارت

در این طبقه‌بندی شناخت اولیه در مورد مشخصات طبقه‌ها ضروری نبوده و مفسر دخالت چندانی در امر طبقه‌بندی ندارد. این طبقه‌بندی در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول پیکسل‌های تصویر به گونه‌ای دسته‌بندی می‌شوند که مشخصات پیکسل‌های هر گروه تا حد ممکن به هم شبیه و در ضمن از گروه‌های مجاور کاملاً متمایز گردند و در مرحله دوم گروه‌ها بر اساس موقعیت و پراکنش آنها در تصویر و همچنین انجام کارهای میدانی تفسیر و شناسایی می‌شوند. از این طبقه‌بندی در موارد زیر استفاده می‌شود:

الف) شناخت تعداد طبقه‌های قابل تفکیک

ب) تعیین نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی نظارت‌شده

۱-۸-۲-طبقه‌بندی نظارت‌شده

این روش بر پیش‌شناخت دقیق طبقه‌های مورد نظر استوار است. بدین مفهوم که مجموعه کوچکی از پیکسل‌ها به عنوان نمونه‌هایی از طبقات مورد نظر تعیین می‌شود. موقعیت این پیکسل‌ها معمولاً از طریق کار زمینی و یا با استفاده از اطلاعات جنبی تعیین می‌شود. بصورت کلی در این طبقه‌بندی ضرورت تعریف و شناخت دقیق طبقه‌ها و تعیین نمونه‌های تعلیمی بطور کامل و جامع طبقه‌های مورد نظر را تشریح و ارائه نماید مد نظر می‌باشد. در این روش طبقه‌بندی در چهار مرحله انجام می‌گیرد:

الف) انتخاب و تعیین طبقه‌ها

مرحله اول در انجام یک طبقه‌بندی نظارت‌شده تعیین نوع و تعداد طبقه‌ها می‌باشد. مفسر باید در انتخاب طبقه‌ها علاوه بر دیدگاه موضوعی و تخصصی زمینه مورد عمل ویژگی‌ها و توانایی‌های سنجش از دور را نیز مد نظر قرار دهد و در ضمن تعریف حتی‌الامکان جامع و کاملی از طبقاتـــــی که نمایانگر مرز بین آنها می‌باشد، به منظور تفکیک و نام‌گذاری طبقات در اختیار داشته باشد. باید به این نکته توجه داشت که افزایش تعداد طبقات، باعث کاهش صحت طبقه‌بنـــدی می‌شود و مفسر بدلیل محدودیت داده‌های ماهواره‌ای در ارتباط با تفکیک پدیـــده‌های مختلف ناچار به ادغام طبقه‌ها و کاهش آنها می‌گردد. از روش‌های مختلف محاسبه تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی برای سنجیدن این قابلیت‌ها استفاده می‌شود که در جای خود توضیح داده خواهد شد.

ب) انتخاب نمونه‌های تعلیمی و اصلاح آنها

نمونه‌های تعلیمی نقش مهمی در صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی ایفا می‌نمایند. لذا اهمیت دقت در انتخاب نمونه‌های تعلیمی بسیار لازم و ضروری می‌باشد. نمونه‌های تعلیمی تا حد ممکن باید همگن بوده و مشخصات طیفی طبقات را بخوبی ارائه دهند و همچنین معرف طبقه مورد نظر نیز باشند. تعداد و بزرگی قطعات نمونه‌های تعلیمی به وسعت، یکنواختی، همگنی و یکپارچگی طبقات بستگی دارد. طبقات وسیع، ناهمگن‌تر و پراکنده‌تر نیاز به قطعات نمونه بیشتری دارند. لازم به ذکر است که نمونه‌های تعلیمی متعدد و کوچک با پراکنش مناسب در هر طبقه مناسب‌تر از تعداد اندک نمونه تعلیمی بزرگ می‌باشد. نمونه‌های تعلیمی هر طبقه با بهره‌گیری از تجربه و شناخت مفسر از منطقه به کمک اطلاعات جنبی نظیر نقشه‌های موضوعی مرتبط و عکس‌های هوایی و یا کارهای میدانی تعیین می‌شود. روش‌های زیر برای بررسی و اصلاح نمونه‌های تعلیمی استفاده می‌شود:

۱-۹- روش رندوم فارست (Random Forest)

این روش یک روش غیرپارامتری و متعلق به خانواده روش‌های دسته‌جمعی[1] است که در اواخر قرن نوزدهم از روش‌های ماشین یادگیری تولید شد. این الگوریتم که شامل مجموعه‌ای از درختان طبقه‌بندی و رگرسیونی است اولین بار توسط بریمن[2] (۲۰۰۱) توسعه یافت. دلیل انتخاب نام رندم فرست (جنگل اتفاقی) اینست که در این روش تعداد زیاد درخت (تا ۲۰۰۰ درخت) ساخته می‌شود از اینرو نام جنگل و همچنین با توجه به اینکه هر درخت با زیر مجموعه‌ای تصـــادفی از متغیرهای پیش‌بینی رشد می‌کند نام پسوند تصادفی برای آن انتخاب شده است. درختان متعددی در این روش ساخته می‌شود و نهایتاً به عنوان یک طبقه پیش‌بینی مجتمع می‌شوند. از جمله محاسن این روش‌های میتوان به عدم نیاز به انتخاب بهترین متغیرها جهت طبقه‌بندی، بالا بودن صحت نتایج طبقه‌بندی با این روش نسبت به سایر روش‌ها، انعطاف و توانایی بالای این روش در انجام آنالیز آماری چندین نوع داده مثل رگرسیونی، طبقه‌بندی، آنالیز بقاء[3] و یادگیری غیر نظارت شده (کاتلر[4]، ۲۰۰۷). همچنین از مزایای دیگر این روش اینست که نیاز به هرس ندارد و همچنین در زمان محاسبات صرفه‌جویی می‌کند (گیسلاسون و همکاران[5]، ۲۰۰۶). برای ساخت رندوم فارست باید سه پارامتر اصلی تعیین شود. اولین پارامتر: نسبت زیرنمونه‌ها[6] می‌باشد که مطابق با مطالعه شتایی و همکاران (۲۰۱۲) برای تعیین مقدار این پارامتر نسبت_های۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد مورد آزمایش قرار گرفت. دومین عامل: تعداد متغیرهای پیش‌بینی می‌باشد که مطابق با مطالعه شتایی و همکاران (۲۰۱۲) این مقدار بر اساس مجذور متغیرهای مستقل محاسبه گردید. سومین عامل تعداد درختان می‌باشد.

۱-۱۰- تعیین صحت طبقه‌بندی

بررسی میزان صحت نتایج بدست آمده به منظور استفاده از نتایج در موارد مختلف اجرایی و مقایسه با دیگر نتایج بدست آمده از ضروریات انجام یک مطالعه می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به این موضوع که نتایج مفسرین مختلف از یک منطقه با موضوع و داده یکسان متفاوت می‌باشد لزوم بررسی صحت نتایج بدست آمده بسیار مهم خواهد بود. بهترین روش تعیین صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای، مقایسه آن بصورت پیکسل به پیکسل با واقعیت زمینی منطقه می‌باشد. بنابراین تهیه نقشه

[1] ensemble
[2] Breiman
[3] survival analysis
[4] Cutler
[5] Gislason et al
[6] subsamples – proportions

واقعیت زمینی دقیق و کامل از تمامی منطقه بخصوص در کارهای تحقیقاتی بسیار مهم می‌باشد ولی از آنجا که تهیه نقشه کامل از منطقه مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد و همـــچنین نتایج بررسی‌های محققین نشان دهنده آن است که با استفاده از واقعیت زمـینی نمونه‌ای با شدت ۲٪ به روش تصادفی-سیستماتیک و بزرگی قطعات نمونه متناسب با تنوع و یکپارچگی پدیده‌ها در منطقه، صحت نقشه‌ها با دقت ۴٪± تا ۶٪± قابل برآورد می‌باشد، می‌توان اقدام به تهیه نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای نمود.

نتیجه حاصل از این مقایسه در جدولی به نام جدول خطا (ماتریس خطا)[1] نشان داده می‌شود که تعداد ستون‌ها و ردیف‌های این جدول با هم برابر و معادل تعداد طبقات مورد طبقه‌بندی می‌باشد. ردیف‌های جدول بیانگر نتایج طبقه‌بندی و ستون‌های آن برابر داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد. در واقع ماتریس خطا میزان تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی نشان می‌دهد و در آن می‌توان میزان قرار گرفتن اشتباهی یک طبقه را در طبقات دیگر مشاهده کرد. با استفاده از این جدول معیارهایی جهت بیان صحت طبقه‌بندی بصورت کمی بدست می‌آید که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-۱۰- ۱- صحت کلی

صحت کلی برابر با نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده یک طبقه به کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در تمامی طبقات می‌باشد. صحت کلی زمانی قابل اعتماد است که صحت هر یک از طبقات نیز حتی‌الامکان بالا باشد.

۱-۱۰-۲- ضریب کاپا

این ضریب به‌منظور حذف توافق اتفاقی[2] (مقدار آن از مقادیر فرعی سطر و ستون‌های ماتریس خطا بدست می‌آید) از معیار صحت کلی می‌باشد. بدین معنی که در هنگام طبقه‌بندی ممکن است برخی از نمونه‌های تعلیمی بطور اتفاقی با یک طبقه تطابق یابند و نه بر اساس واقعیت موجود در سطح زمین. این عامل باعث بالا رفتن کاذب مقدار صحت کلی می‌شود و در واقع، مقدار صحت کلی به اندازه ضریب کاپا با واقعیت توافق دارد.

$$k = \frac{(P_0 - P_c)}{(1 - P_c)} \times 100 \qquad P_0 = \frac{\sum x_{ii}}{N} \qquad PC = \frac{\sum x_{ti} \times x_{it}}{N^2}$$

که در آنها:

[1] confusion matrix
[2] Chance Agreement

k= ضریب کاپا - Po= صحت کلی - PC= توافق اتفاقی -N= تعداد پیکسل‌ها- xit=جمع ردیف xti= جمع ستون

میزان ضریب کاپا بین صفر و یک متغیر است که ضریب کاپای معادل ۱ به معنی توافق صد در صد بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی می‌باشد. بهترین نتایج طبقه‌بندی با مقایسه مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا معرفی می‌شود.