مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره سوم، شماره ۵، بهار و تابستان ۱۳۹۸
شاپای چاپی ۱۴۹۰-۲۵۳۸ شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲-۲۵۳۸
http://JGET.ir
صص. ۱۴۴-۱۲۷

کاربرد استنتاج منطق فازی در زمینه اولویت‌بندی گونه‌های درختی سازگار با شهر زابل

وحید پاسبان عیسی لو- دانشجوی دکتری، جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
لیلا گهرمیر*- دانش آموخته کارشناسی ارشد، جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

کشف روابط بین انتخاب گونه‌های درختی خاص و سازگار با شرایط آب‌وهوایی ویژه مناطق موردنظر همواره از موارد چالش‌برانگیز و قابل‌تأمل در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری بوده است. شناخت منطقی این روابط از سویی باعث افزایش بهره‌وری و بازدهی بالای این درختان و از سوی دیگر موجب صرفه‌جویی‌های اقتصادی ناشی از این امر می‌شود که این امر به‌نوبه خود زیبایی شهر و رضایتمندی شهروندان را نیز به دنبال دارد. دشت سیستان به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر و طوفان‌های شن سهمگین آن دارای شرایط خاص جغرافیایی در استان سیستان و بلوچستان و کشور می‌باشد، و این خاص بودن همواره باعث شده است تا گونه‌های خاص و مقاومی از پوشش گیاهی را پذیرا باشد. این تحقیق به بررسی چندگونه درختی مقاوم و سازگار با شرایط جغرافیایی شهر زابل پرداخته و با استفاده از مدل سیستم استنتاج فازی و AHP اقدام به بررسی این گونه‌ها از جنبه معیارهای اکولوژیکی و اجتماعی-کارکردی نموده و با ذکر ابعاد مختلف ضعف و قوت هرکدام از درختان اقدام به اولویت‌بندی آن‌ها کرده است، تا با استفاده از نتایج آن بتوان در مورد تمرکز سرمایه‌گذاری و انتخاب گونه اصلح‌تر برای کشت تصمیم‌گیری نمود. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در بین گونه‌های گیاهی شش‌گانه مورد بررسی، درختان اکالیپتوس و نخل زینتی به ترتیب با وزن نهایی (۰.۲۷۳ و ۰.۲۶۳) مناسب‌ترین درختان برای کاشت و در مقابل درخت توت تزئینی با کسب امتیاز (۰.۱۲۵) نامناسب‌ترین درخت برای کاشت در شرایط اکولوژیکی و اجتماعی- کارکردی زابل است.

واژه‌گان کلیدی: زابل، گونه‌های درختی، سیستم استنتاج فازی، AHP

* نویسنده مسئول: Email: goharmir22@gmail.com

مقدمه

کمبود منابع آب از جمله موانع جدی است که بشر را در آینده ی نه چندان دور با بحران مواجه خواهد کرد. کمبود ریزشهای جوی در ایران و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، این کشور را در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرار داده است (غفاری، ۱۳۷۷: ۳۹۷). طی سال های اخیر به دلیل کمبود آب ناشی از خشک سالی و عدم تعهد کشور افغانسان به تعهدات خود در قبال تامین حق آبه سیستان، فضای سبز شهر زابل آسیب های فراوانی را متحمل گردیده است که این مساله موجب نگرانی مسئولین شده است. این امر به خصوص در فضاهای سبز حاشیه شهر به وضوح قابل رویت است. از بین رفتن تعداد زیادی از این درختان جدای از مسایل کمبود آب، کاشت برخی گونه های حساس به خشکی که نیاز آبی بیشتری دارند مشکل را حاد تر کرده است. از طرف دیگر گونه های کاشته شده در فضای سبز زابل از تنوع بالایی برخوردار نیست. با توجه به تنوع گونه ای در سطح وسیعی از کشور ایران، می توان با مطالعه شناخت نیازهای هر یک از این گونه ها از جمله نیاز آبی، نوع خاک و نیز مطالعه رشد آن ها، متناسب با شرایط هر منطقه از لحاظ آب و خاک گونه های سازگار با آن شرایط را انتخاب و برای کشت معرفی نمود (شبان، ۱۳۸۴: ۱۲). منظور از گونه های متعدد یا تنوع گونه ای در طراحی کاشت فضای سبز، استفاده از اشکال گوناگون درخت و درختچه، فرم، بافت و رنگ متفاوت می باشد (احمدی، ۱۳۷۷: ۴۹). انتخاب گونه های مقاوم به خشکی و سازگار با شرایط اقلیمی شهر زابل، گونه های سریع الرشد و گونه های جدید جهت افزایش تنوع گونه ای از جمله اهداف مورد نظر بسیاری از محققان و کارشناسان فضای سبز می باشد تا متناسب با شرایط موجود در هر منطقه گونه مورد نظر برای کشت معرفی نماید.

درختان نقش مهمی در تغییرات کربن، آب و انرژی در سطح زمین‌بازی می‌کنند، علاوه بر آن این‌گونه ها یکی از پارامترهای اصلی در اکوسیستم شهری محسوب می‌شوند(سلیمی، ۱۳۹۲: ۲). با توجه به اهمیت کشت گونه‌های درختی برای منظرسازی در شهرها و کارکردهای اکولوژیکی آن در شهرها مانند جلوگیری از فرسایش خاک و احداث بادشکن و هزینه زیاد کشت (جعفری و همکاران، ۱۳۸۴: ۹۲۱)، لازم و منطقی است که پژوهشی به‌منظور شناخت تأثیرات مثبت و منفی گونه‌های کشت‌شده در منطقه انجام گیرد، تا نسبت به انتخاب و یا عدم انتخاب گونه‌های مطالعه شده و در مرحله بعد اولویت‌بندی اهمیت و سازگاری گونه‌های انتخابی بر اساس معیارهای مختلف اجتماعی- کارکردی، اکولوژیکی، فرهنگی و اقتصادی اقدام شود.

شهرداری شهر زابل سالانه بودجه قابل‌توجهی صرف کاشت گونه‌های درختی متنوع در پیاده‌روها و فضاهای سبز شهر می‌کند که این مهم به دلیل عدم توجه و مطالعات کافی درزمینه زیست‌بوم و ویژگی‌های آب و هوایی خاص زابل که نشأت‌گرفته از خشک‌سالی‌های اخیر و طوفان‌های شن شدید که آن نیز ناشی از رسوبات دریاچه هامون می‌باشد، این درختان یا عموماً در مراحل ابتدایی رشد خود از بین می‌روند یا در مراحل بعدی رشد آن بازدهی و مطلوبیت لازم را ندارند که این امر به‌نوبه خود از سویی باعث اتلاف وقت و انرژی و سرمایه ملی و از سوی دیگر خسارت جبران‌ناپذیری به کالبد شهر وزندگی روزمره مردم زابل می‌زند. بدین منظور بدیهی است که مسئولان و کارشناسان مربوطه باید از سویی به مطالعه نسبت شرایط آب و هوایی و فرهنگ و خلق‌وخوی مردم زابل و از سوی دیگر به بررسی جنبه‌های مختلف ضعف و قوت درختان سازگار با شرایط نامبرده اقدام نمایند.

شناسایی گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط اکولوژیکی و اجتماعی- کارکردی شهر زابل

اعمال مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب جهت انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب محدوده موردمطالعه

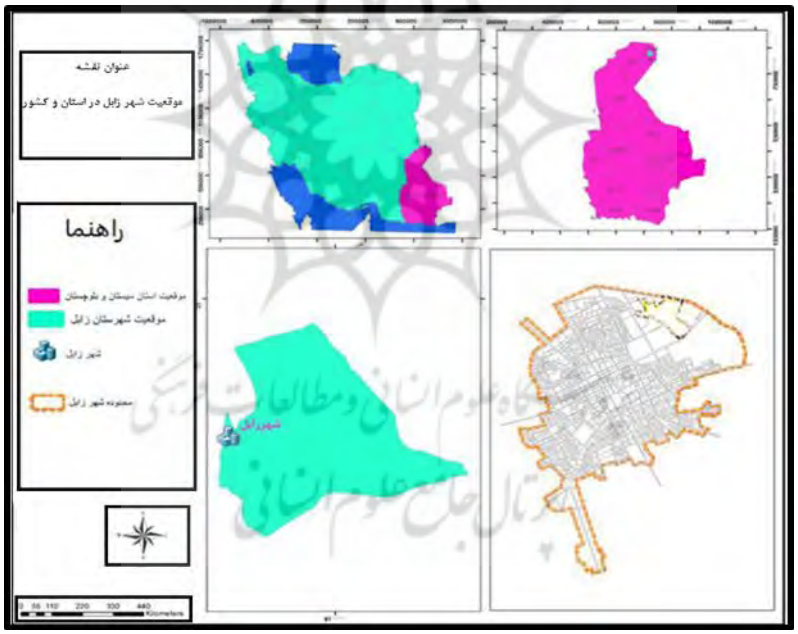
توسعه فضاهای سبز درون محدوده موردمطالعه به‌منظور بهبود شرایط زیستی منطقه

زمانی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان بررسی جوامع درخت پده و چگونگی سازگاری آن در مناطق گرمسیر و سردسیر تحقیقاتی بر روی این‌گونه انجام دادند. شوشتری و همکاران در سال ۱۳۹۰ در تحقیقی با عنوان معرفی تعدادی از گونه‌های سازگار درختی، درختچه‌ای و زینتی در نقاط مختلف اکولوژیکی استان خوزستان به بررسی۱۰۰ گونه گیاه

جنگلی، زینتی پرداختند. سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر اهواز (۱۳۷۲) با چاپ یک جلد کتاب راهنما، اقدام به معرفی مهم‌ترین نباتات بومی مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری مبتنی بر روش‌های گیاه‌شناسی و نیز ذکر روش‌های تکثیر، نگهداری و مراقبت‌های ویژه آن‌ها بر اساس اصول علمی و فنی نموده است. در کشور چین، ایستگاه تحقیقات جنگلی گرمسیری (۱۹۶۲) در ایالت Hainan شهرJianfengling تأسیس شد. این ایستگاه متشکل از پنج واحد تحقیقاتی در زمینه‌های مختلف بود. از سال ۱۹۸۰ در قطعه زمینی به وسعت ۲۰ هکتار، بیش از ۱۰۰۰ گونه درختی، درختچه‌ای و علوفه‌ای جهت انتشار و توصیه این گونه‌ها برای جنگل‌کاری و احیاء در مناطق مختلف برای اهداف گوناگون احداث گردید. علوی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای تحت عنوان مقایسه روش‌های TOPSIS فازی و AHP فازی برای انتخاب و کشت گونه‌های گیاهی بومی (مطالعه موردی: منطقه معدنی مس سرچشمه) پرداختند.

محدوده مورد مطالعه پژوهش

شهر زابل مرکز شهرستان زابل با جمعیتی بالغ بر ۱۵۲۳۷۰ نفر (سرشماری سال ۱۳۹۵) و در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی قرارگرفته است. شهر زابل مطابق پیشنهاد طرح تفصیلی به ۵ ناحیه و ۴۰ محله تقسیم شده است. شکل شماره ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه در کشور و استان را نشان می دهد (سرشماری نفوس و مسکن، ۱۳۹۵).



شکل ۱. موقعیت شهر زابل در کشور، استان و شهرستان (نگارنده، ۱۳۹۷)

وضعیت بارندگی محدوده مورد مطالعه

زابل سرزمینی خشک با نزولات جوی بسیار کم است، به طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین را که حدود ۸۶۰ میلیمتر است با متوسط بارندگی سالانه زابل که کمتر از ۶ میلیمتر در سال است مقایسه کنیم ملاحظه می شود که بارندگی زابل دارای مقدار ناچیزی است (سلیقه، ۱۳۸۹: ۱۲). بیشترین میزان بارندگی شهر زابل در دهه گذشته مربوط به سال ۱۳۹۴ می باشد. در این سال ماه اسفند با ۱۷.۷ میلی‌متر بیشترین بارش و خرداد تا شهریور بدون بارندگی گزارش شده است. سال ۱۳۸۹ نیز با مقدار ۰.۵۶ میلی متر بارش به عنوان کم بارش سال در دهه گذشته بوده است (اداره

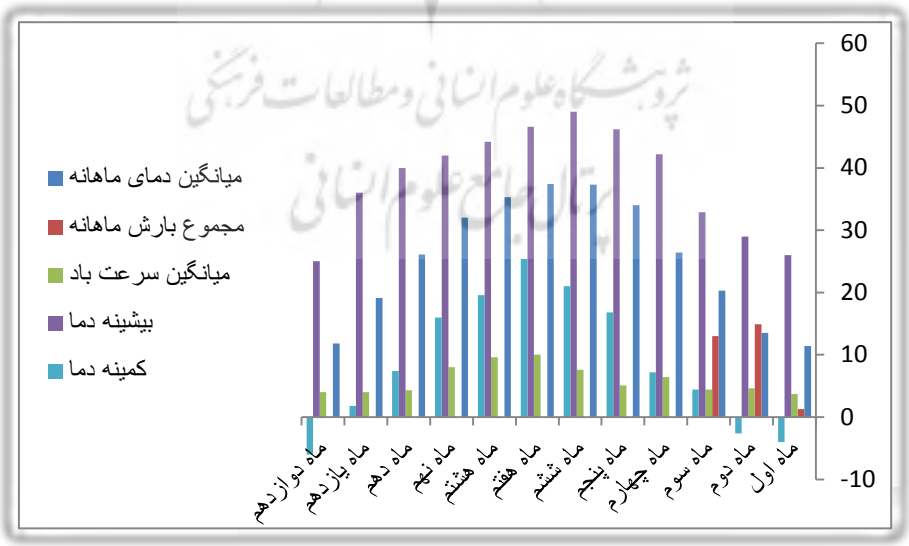
هواشناسی زابل، ۱۳۹۷). در جدول شماره ۱ وضعیت بارندگی شهر زابل در دهه گذشته به تفکیک ماه ارائه شده است.

جدول ۱) وضعیت بارندگی دهه گذشته شهر زابل (۱۳۸۸- ۱۳۹۷)

سال	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷
دی	۸.۲	۷.۸	۰.۸	۷.۱	۰.۸	۰	۲۰	۱۶.۸	۷.۷	۱
بهمن	۰	۰	۱.۸	۱۶.۵	۲۳	۳.۳	۸.۳	۶.۲	۰	۱۴.۲
اسفند	۰	۵.۷	۰	۸.۴	۰	۱.۳	۱۵.۸	۱۷.۷	۲۲.۱	۴.۸
فروردین	۱	۱۲.۱	۱	۰.۱	۴.۸	۴	۲.۴	۱۱.۳	۱.۷	۰
اردیبهشت	۰	۵.۱	۳.۲	۰	۰.۴	۰	۰	۰	۷	۰
خرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تیر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شهریور	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۲	۰	۰
آبان	۰	۰	۰	۱	۹.۳	۱۴.۹	۰	۷.۲	۰.۱	۰
آذر	۱۰.۹	۱۵	۰	۰	۳	۰	۰	۶.۹	۰.۴	۰
حداقل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حداکثر	۱۰.۹	۱۵	۳.۲	۱۶.۵	۲۳	۱۴.۹	۲۰	۱۷.۷	۲۲.۱	۱۴.۲
میانگین	۱.۶۷	۳.۸۰	۰.۵۶	۲.۷۵	۳.۴۴	۱.۹۵	۴.۱۲	۵.۶۷	۳.۲۵	۱.۶۶

دمای منطقه مورد مطالعه

بررسی جداول دمایی از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ در شهر زابل نشان می‌دهد، میانگین دمای سالیانه در این مدت برابر ۲۶/۳ درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل دمای مطلق این مدت به ترتیب ۴۷/۲۸ و ۵/۹۹ درجه سانتی‌گراد بوده است. مطالعات آب‌وهوا شناسی منطقه نشان داده است که افت دمای ماهانه در سال به ازای یک کیلومتر افزایش ارتفاع از ۱/۹ درجه سانتی‌گراد در آذرماه تا ۶ درجه سانتی‌گراد در مردادماه متغیر است (اداره هواشناسی زابل، ۱۳۹۷) که به تفکیک در جدول شماره ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. وضعیت دمای شهر زابل برحسب ماه، ۱۳۹۷

روش پژوهش

نوع تحقیق کاربردی – توسعه‌ای و روش بررسی آن توصیفی– تحلیلی است. شیوه جمع‌آوری آمار و اطلاعات به‌صورت

اسنادی شامل مجموعه اطلاعات موجود در سایت منابع رسمی (سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور، شهرداری شهر زابل) و میدانی (مصاحبه و اخذ نظر ده تن از اساتید و کارشناسان اگرواکولوژی و گیاه‌شناسی در رابطه با اوزان مختلف مربوط به معیارها و زیر معیارها، و تهیه پرسشنامه برای شهروندان در مورد جنبه‌هایی از زیرمعیارهای مربوط به شاخص اجتماعی– کارکردی).

معرفی مدل‌های مورد استفاده در تحقیق

با توجه به کثرت معیارهای اکولوژیکی و اجتماعی– کارکردی تأثیرگذار در انتخاب گونه‌های درختی (گاهاً بـا تأثیرگـذاری نامحسوس) و در ادامه، جلوگیری از افزایش قانون‌های فازی و اطاله کلام، ابتدا با استفاده از روش AHP و تحـت نظـر کارشناسان مربوطه اقدام به وزن دهی معیارهای دوازده‌گانـه (اکولـوژیکی و اجتمـاعی– کـارکردی) تأثیرگـذار در فراینـد بررسی و انتخاب گونه‌های درختی شد و از بین این معیارهای دوازده‌گانه، ۱۰ مورد با کسب ضریب نهایی بالاتر در ادامه روند استنتاج مورداستفاده قرار گرفتند.

مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و کاربرد آن در انتخاب معیارهای اولویت‌دار

فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی جزو روش‌های ارزیابی چند معیاری است. این مدل ترکیبـی از مـدل مقایسـه زوجـی و مـدل موریس است (آسایش و استعلاجی، ۱۳۸۲: ۱۲۹) که برای سطح‌بندی، درجـه‌بنـدی، تعیـین مکـان بهینـه و ... در ناحیـه جغرافیایی قابل‌استفاده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی جهت استخراج مقیاس‌های نسبی از مقایسـه زوجـی داده‌هـای گسسته و پیوسته بکار می‌رود. این مقایسه‌ها ممکن است برای اندازه‌گیری واقعی به کار رود یا اینکه نشـان‌دهنـده وضـع نسبی ترجیحات باشد (Saaty, 2004:15). با استفاده از این مدل بـه وزن دهـی درونـی و بینـابین داده‌هـا پرداختـه (جدول ۳ و ۴) و سپس رتبه‌بندی مربوط استخراج می‌شود (کاووسی، ۱۳۹۲: ۷).

جدول ۲. مقیاس‌های عددی ساعتی

مفاهیم	ارزش عددی
اهمیت یکسان	۱
تا حدودی دارای اهمیت زیاد	۳
به‌طورجدی مهم و بااهمیت	۵
خیلی زیاد مهم و بااهمیت	۷
اهمیت در حد عالی	۹
ارزش‌های حد متوسط را ارائه می‌کنند	۲ و ۴ و ۶ و ۸

مأخذ: قدسی پور ، ۱۳۸۴

جدول ۳. وزن دهی به معیارهای اکولوژیکی درختان هدف با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

معیار	شرایط زیست‌گاه گونه	وضعیت ریشه دوانی	مقاومت در برابر آلودگی هوا	وضعیت تاج درخت	مقاومت در برابر شوری خاک	مقاومت در برابر آلودگی جوی	جمع	ضریب نهایی
شرایط زیست‌گاه گونه	۱	۴	۳	۶	۵	۲	۲۱	۰/۳۴
مقاومت در برابر عوامل جوی	۰/۵	۳	۲	۵	۴	۱	۱۵/۵	۰/۲۵
مقاومت در برابر آلودگی هوا	۰/۳۳	۲	۱	۴	۳	۰/۵	۱۰/۸۳	۰/۱۸
وضعیت ریشه دوانی	۰/۲۵	۱	۰/۵	۳	۲	۰/۳۳	۷/۰۸	۰/۱۲
مقاومت در برابر شوری خاک	۰/۲	۰/۵	۰/۳۳	۲	۱	۰/۲۵	۴/۲۸	۰/۷
وضعیت تاج درخت	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۰/۵	۰/۲	۲/۴۴	۰/۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

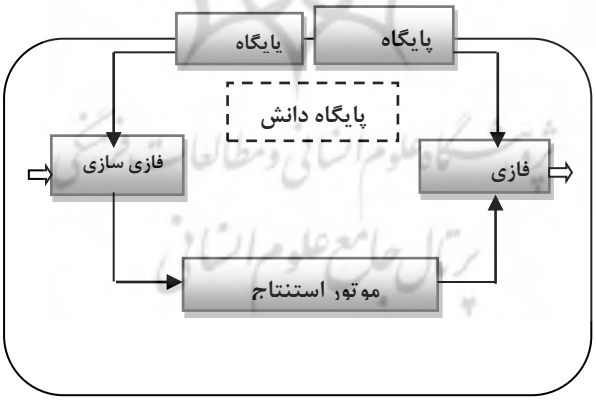
جدول ۴. وزن دهی به معیارهای اجتماعی-کارکردی درختان هدف با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

معیار	وضعیت سایه‌اندازی	ایجاد شغل و حرفه	جنبه زیبایی‌شناسی	اتونومی (خود نگه‌داری)	جنبه روحی و روانی	رویش سالیانه	جمع	ضریب نهایی
وضعیت سایه‌اندازی	۱	۷	۴	۵	۶	۳	۲۶	۰/۳۷
رویش سالیانه	۰/۳۳	۵	۲	۳	۴	۱	۱۵/۳۳	۰/۲۲
اتونومی (خود نگه‌داری)	۰/۲۰	۵	۱	۲	۴	۰/۳۳	۱۲/۵۳	۰/۱۸
جنبه زیبایی‌شناسی	۰/۲۵	۴	۰/۵	۱	۳	۰/۳۳	۹/۰۸	۰/۱۳
جنبه روحی و روانی	۰/۱۶	۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۰/۲۵	۴/۹۹	۰/۷
ایجاد شغل و حرفه	۰/۱۴	۱	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲	۲/۱۲	۰/۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

سیستم استنتاج فازی

ابهام[1] و عدم قطعیت[2] ذاتی حاکم بر علوم انسانی به‌طورکلی و به‌ویژه محیط‌های برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، نیازمند روش‌هایی است که امکان بررسی و صورت‌بندی ریاضی مفاهیم نادقیق و ناخوش تعریف این علوم را فراهم نمایند.تئوری مجموعه‌های فازی[3] و منطق فازی[4]، به‌عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم قطعیت موجود در فرایندهای شناختی انسانی (Lootsma, 1997) ، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی برای این منظور به شمار می‌روند. این نظریه که نخستین بار توسط پرفسور زاده[5] دانشمند ایرانی‌الاصل دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد، حوضه‌های بسیاری از علوم مختلف مانند طبیعی، زیستی، علوم اجتماعی، مهندسی، علوم کامپیوتر، علوم سیستمی و همچنین مدیریت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری را فراگرفته است (Klir and Folger, 1988). نظریه مجموعه‌های فازی ابزارهایی را فراهم می‌آورد که می‌تواند به‌وسیله آن‌ها نحوه استدلال و تصمیم‌گیری انسانی را صورت‌بندی ریاضی بخشید و از الگوهای ریاضی به‌دست‌آمده در زمینه‌های گوناگون علوم و فنّاوری استفاده کرد (طاهری، ۱۳۷۸). شکل ۳ مراحل اصلی و شمای کلی فرایند استنتاج را در منطق فازی نشان می‌دهد.



شکل ۲. شکل کلی و مراحل اصلی در یک سیستم فازی

(Roger Jang, 1933)

1. Vagueness
2. Uncertainty
3. Fuzzy Set Theory
4. Fuzzy Logic
5. L. A. Zadeh

داده‌های پژوهش

داده‌های تحقیق شامل ۶ درخت پراستفاده در مناطق گرم و خشک یعنی اکالیپتوس، نخل روغنی، نخل زینتی، گز ،توت زینتی و پده می‌باشد که هرکدام از آن‌ها به دو معیار اصلی جنبه‌های اکولوژیکی و بازدهی اجتماعی– فرهنگی تقسیم می‌شوند و این معیارهای اصلی نیز خود هرکدام به ترتیب به چهار معیار فرعی شامل شرایط زیست‌گاه گونه، وضعیت ریشه دوانی، مقاومت در برابر عوامل جوی و تثبیت ریز گرد (برای جنبه اکولوژیکی) و سایه‌اندازی، رویش سالیانه، اتونومی و زیبایی‌شناسی (برای جنبه اجتماعی– کارکردی) قابل‌تقسیم می‌باشد. معیارهای فرعی نیز به‌نوبه خود دارای ابعاد مختلفی می‌باشند که به‌تفصیل در جدول شماره (۵) تشریح شده‌اند. وزن‌های غیر فازی هرکدام از درختان و معیارهای مربوط به آن‌ها از طریق مراجعه حضوری به ۱۰ تن از اساتید و کارشناسان رشته‌های گیاه‌شناسی و اگرواکولوژی جمع‌آوری و جهت انجام پردازش‌های بعدی به محیط (Excel) و (Matlab) واردشده است.

جدول ۵. معیارها و زیر معیارهای مورداستفاده در تحقیق

معیارهای اصلی	معیارهای فرعی	توضیحات
اکولوژیکی	شرایط زیستگاه گونه	نیاز آبی خیلی زیاد (روزانه حداقل ۱۱ میلی‌متر) نیاز آبی زیاد (روزانه حدود ۹ میلی‌متر) نیاز آبی متوسط (روزانه حدود ۶ میلی‌متر) نیاز آبی کم (روزانه حدود ۴ میلی‌متر)
	وضعیت ریشه دوانی (متر)	(۱.۵ تا ۲.۵)، (۲.۵ تا ۳.۵)، (۳.۵ تا ۴.۵) و (بیشتر از ۴.۵)
	مقاومت در برابر عوامل جوی	حساس، نیمه مقاوم، مقاوم، بسیار مقاوم (رنج حرارتی بین ۱۰– تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد)
	تثبیت ریز گردها	حساس، نیمه مقاوم، مقاوم، بسیار مقاوم (خاک‌های آهکی، شور، اسیدی، قلیایی، شنی، رسی، مرطوب)
اجتماعی - کارکردی	سایه‌اندازی	کم، زیاد
	رویش سالیانه	کم، متوسط، خوب
	اتونومی (خود نگه‌داری)	مناسب، نامناسب
	زیبایی‌شناسی	ضعیف، متوسط، خوب

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

نتایج حاصل از تحلیل سیستم استنتاج فازی

استنتاج معیار واحدی برای انتخاب مناسب‌ترین گونه گیاهی برای شهر زابل مستلزم اعمال چندین مرحله از فرایند استنتاج منطق فازی است. به‌این‌ترتیب که در مرحله اول و بر اساس دسته‌بندی اولیه صورت گرفته بر روی مجموعه متغیرها، هرکدام از زیر معیارهای ثانویه هشت‌گانه حاصل می‌شود.

در مرحله بعد دو مؤلفه اولیه یعنی بازدهی اکولوژیکی (براساس معیارهای ثانویه شرایط زیست‌گاه گونه، وضعیت ریشه دوانی، مقاومت در برابر عوامل جوی و مقاومت در برابر آلودگی هوا) و جنبه اجتماعی–کارکردی (براساس معیارهای ثانویه سایه‌اندازی، رویش سالیانه، اتونومی و جنبه‌های زیبایی‌شناسی) استنتاج می‌شود. در آخرین مرحله از ترکیب دو مؤلفه اولیه بازدهی اکولوژیکی و اجتماعی–کارکردی شاخص نهایی مناسب‌تری گونه درختی به دست می‌آید.

در ادامه مجموعه‌های فازی متناظر با شاخص‌ها و مؤلفه‌های گونه درخت نهایی را تعریف کرده، قواعد منطقی برای ترکیب آن‌ها و استنتاجات مرحله‌ای انتخاب گونه ارجح‌تر را بیان نموده و با پیاده کردن آن در Tool Box منطق فازی نرم‌افزار MATLAB، استدلالات تقریبی را انجام خواهیم داد.

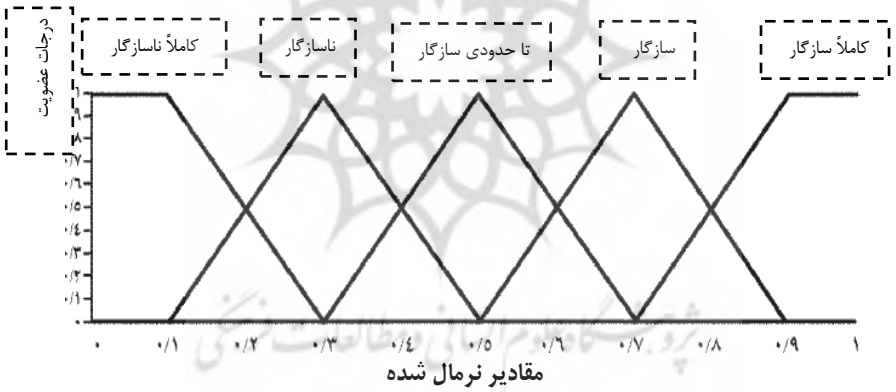
تشکیل پایگاه دانش

همان‌طور که از دقت در شکل شماره (۳) و مؤلفه‌های پوشش گیاهی توصیف‌شده در آن استنباط می‌شود، داده‌های واقعی تنها در اولین سطح مدل یعنی در رابطه با متغیرهای پایه پوشش گیاهی وجود دارند. بنابراین هرکدام از شاخص‌ها، مؤلفه-های مطرح‌شده و شاخص نهایی گونه درختی مناسب درواقع متغیرهای زبان‌شناختی[1] هستند که با به‌کارگیری منطق فازی و استدلال تقریبی از داده‌های پایه استنتاج می‌شوند. ازاین‌رو ضرورت اصلی در طراحی یک سیستم خبره فازی، نخست انتخاب توابع عضویتی[2] با کارایی بالا برای متغیرهای زبان‌شناختی فوق و تعریف مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی هر مرحله (تشکیل پایگاه داده) و سپس جمع‌آوری دانش در مورد مسئله موردبررسی و کد کردن دانش جمع‌آوری‌شده در قالب قوانین منطقی اگر- آنگاه فازی[3] (تشکیل پایگاه قانون) می‌باشد (کاتبی، ۱۳۸۱: ۲۴)

در ادامه، مجموعه‌های فازی متناظر با شاخص‌ها و مؤلفه‌های گونه‌های درختی را تعریف کرده، قواعد منطقی برای ترکیب آن‌ها و استنتاجات مرحله‌ای برای انتخاب گونه نهایی را بیان نموده و با پیاده کردن آن در Tool Box منطق فازی نرم‌افزار MATLAB ، استدلالات تقریبی را انجام خواهیم داد.

تشکیل پایگاه داده

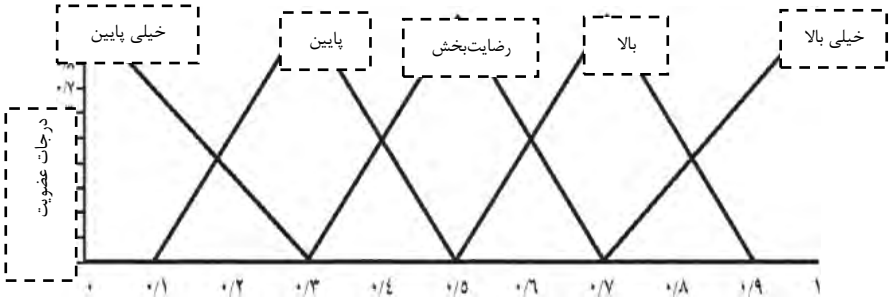
برای متغیر زبانی گونه درخت نهایی، مجموعه‌های فازی با ۵ ارزش زبانی[4] کاملاً ناسازگار،ناسازگار، تا حدودی سازگار، سازگار و کاملاً سازگار با توابع عضویتی ذوزنقه‌ای شکل در نظر می‌گیریم(شکل ۴)



شکل ۳. ارزش‌های زبانی و توابع عضویت مربوطه برای گونه درخت نهایی

برای هرکدام از دو مؤلفه ی منتج به گونه نهایی یعنی جنبه‌های اکولوژیکی و اجتماعی-کارکردی توابع عضویتی مثلثی شکل و به‌صورت مجموعه‌های فازی دیگری با ۵ ارزش زبانی خیلی پایین(VL)، پائین(L)، رضایت‌بخش(I)، بالا(H)، و خیلی بالا(VH)، تعریف شد، شکل (۵).

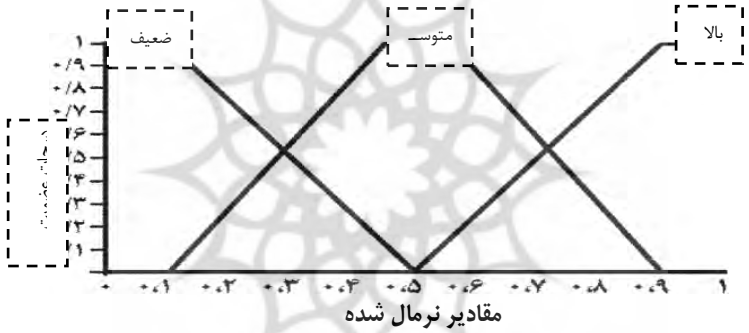
[1]. Linguistic Variables
[2]. Membership Functions (MF)
[3]. Fuzzy IF-THEN Logical Rules
[4]. Linguistic Value



شکل ۴. ارزش‌های زبانی و توابع عضویت مربوطه برای جنبه‌های اکولوژیک و اجتماعی-کارکردی

در ادامه ورودی‌های دومین مرحله استنتاج، خروجی‌های مرحله اول بوده که در آن هرکدام از ۲ گروه از شاخص‌های چهارگانه برای استنتاج هرکدام از دو متغیر اولیه به‌طور مجزا ترکیب می‌شوند.

در اولین پایگاه داده نیز شاخص‌های هشت‌گانه ثانویه در قالب مجموعه‌های فازی با توابع عضویت ذوزنقه‌ای شکل به‌صورت شکل ۶ و با سه مقدار ضعیف، متوسط و خوب تعریف می‌شوند.



شکل ۵. ارزش‌های زبانی و توابع عضویت مربوطه برای زیر معیارهای ۸ گانه

لازم به ذکر است که ۸ شاخص بیان‌شده را نیز می‌توان طبق روش بالا و به‌صورت جداگانه مورد استنتاج قرار داده و ارزش زبانی و توابع عضویت برای آن قائل شد لیکن به دلیل کثرت تعداد قوانین برای تشکیل پایگاه قانون مربوطه و ابهام زیاد در تعریف توابع عضویت متفاوت و مناسب برای تک‌تک متغیرها، پیچیدگی سیستم بسیار افزایش‌یافته و به زمان بسیار بیشتری برای تشکیل پایگاه دانش لازم است. به این دلیل برای تحلیل متغیرهای پایه انتخاب گونه درختی مناسب به استفاده از روش‌های آماری و نرمال‌سازی[1] داده‌ها اکتفا شده است.

تشکیل پایگاه قانون

حساس‌ترین بخش در روش استنتاج فازی ساختن پایگاه قانون است که قوانینی از سطح شاخص‌های پایه تا بالاترین سطح گونه درختی مطلوب به دست می‌دهد. این قوانین درواقع بیانگر وابستگی‌های متقابل بین شاخص‌ها و مؤلفه‌های درختان انتخابی و نحوه‌ی تعامل و تأثیر و تأثر آن‌ها بر یکدیگر است (Fuller & Carlson, 2001). مثالی از قواعد اگر–آنگاه مورداستفاده در مدل عبارت است از:

[1]. Normalization

۱) اگر شرایط زیست‌گاه گونه متوسط، وضعیت ریشه دوانی بالا، مقاومت در برابر عوامل جوی متوسط و مقاومت در برابر آلودگی هوا ضعیف باشد آنگاه وضعیت اکولوژیک گونه رضایت‌بخش می‌باشد.

۲) اگر وضعیت سایه‌اندازی بالا، و رویش سالیانه متوسط، و اتونومی بالا و زیبایی‌شناسی بالا باشد آنگاه وضعیت اجتماعی-کارکردی بالا می‌باشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر قانون از دو بخش مقدم (اگر) و تالی (آنگاه) تشکیل‌شده است که بخش تالی همواره یک عبارت اسمی ولی بخش مقدم معمولاً شامل چندین عبارت است (یا اصطلاحاً چندین شرط) است که با رابط ((و)) منطقی باهم مرتبط می‌شوند. تعداد این قوانین به تعداد ورودی‌ها و تعداد طبقات بین ورودی‌ها (سطوح مختلف مؤلفه‌ها) و همچنین نوع مجموعه‌های فازی تعریف‌شده در پایگاه داده (تعداد ارزش‌های زبانی هرکدام از مؤلفه‌های اولیه، ثانویه و شاخص‌ها) بستگی دارد (Attar, 2002).

همان‌طور که در شکل شماره (۳) بیان شد ما دارای دو پایگاه قانون هستیم. در آخرین پایگاه قانون استنتاج مؤلفه گونه درختی مطلوب از روی مؤلفه‌های اولیه مربوطه (جنبه اکولوژیکی و اجتماعی-کارکردی) مستلزم تنظیم ۹=$۳^۲$ قانون (دو متغیر زبانی و ۳ مقدار زبانی) می‌باشد. بدین ترتیب در این پایگاه تعداد ۹ قانون اگر- آنگاه فازی خواهیم داشت.

در اولین پایگاه قانون نیز هرکدام از ۲ مؤلفه ثانویه از ترکیب ۸۱=$۳^۴$ قانون استنتاج می‌شود. یعنی ۴ شاخص (متغیر زبانی) و هرکدام با ۳ ارزش زبانیِ ضعیف، متوسط، و بالا در آن دخیل هستند. بنابراین تعداد ۱۶۲=۸۱× ۲ قانون نیز در اولین پایگاه وجود خواهد داشت.

جداول شماره (۶) و (۷) نحوه ترکیب قوانین و نتایج حاصل از آن‌ها را در ۲ پایگاه قانون فوق نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از کثرت صفحات مقاله، از اولین پایگاه تنها یک گروه ۸۱تایی (جنبه اجتماعی-کارکردی) آورده شده است.

جدول ۶. ۲۵ قانون پایگاه دوم برای استنتاج گونه درخت نهایی

جنبه اکولوژیک	خیلی بالا	بالا	رضایت‌بخش	پایین	خیلی پایین
اجتماعی-کارکردی					
خیلی بالا	کاملاً سازگار	کاملاً سازگار	سازگار	تا حدودی سازگار	ناسازگار
بالا	سازگار	سازگار	تا حدودی سازگار	تا حدودی سازگار	ناسازگار
رضایت‌بخش	سازگار	تا حدودی سازگار	تا حدودی سازگار	ناسازگار	کاملاً ناسازگار
پایین	ناسازگار	ناسازگار	ناسازگار	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار
خیلی پایین	ناسازگار	ناسازگار	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۷. ۸۱ قانون پایگاه اول برای استنتاج مؤلفه اولیه

قانون r	اگر ((سایه‌اندازی))	و ((رویش سالیانه))	و ((خود نگه‌داری))	و ((جنبه زیبایی‌شناسی))	آنگاه ((بازدهی اجتماعی- کارکردی))	قانون r	اگر ((سایه‌اندازی))	و ((رویش سالیانه))	و ((خود نگه‌داری))	و ((جنبه زیبایی‌شناسی))	آنگاه ((بازدهی اجتماعی- کارکردی))
۱	بالا	بالا	بالا	بالا	خیلی بالا	۴۲	متوسط	متوسط	متوسط	ضعیف	رضایت‌بخش
۲	بالا	بالا	بالا	متوسط	بالا	۴۳	متوسط	متوسط	ضعیف	بالا	رضایت‌بخش
۳	بالا	بالا	بالا	ضعیف	رضایت‌بخش	۴۴	متوسط	متوسط	ضعیف	متوسط	رضایت‌بخش
۴	بالا	بالا	متوسط	بالا	بالا	۴۵	متوسط	متوسط	ضعیف	ضعیف	پایین
۵	بالا	بالا	متوسط	متوسط	بالا	۴۶	متوسط	ضعیف	بالا	بالا	رضایت‌بخش
۶	بالا	بالا	متوسط	ضعیف	رضایت‌بخش	۴۷	متوسط	ضعیف	بالا	متوسط	رضایت‌بخش
۷	بالا	بالا	ضعیف	بالا	رضایت‌بخش	۴۸	متوسط	ضعیف	بالا	ضعیف	پایین
۸	بالا	بالا	ضعیف	متوسط	رضایت‌بخش	۴۹	متوسط	ضعیف	متوسط	بالا	رضایت‌بخش
۹	بالا	بالا	ضعیف	ضعیف	پایین	۵۰	متوسط	ضعیف	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش
۱۰	بالا	متوسط	بالا	بالا	بالا	۵۱	متوسط	ضعیف	متوسط	ضعیف	پایین
۱۱	بالا	متوسط	بالا	متوسط	بالا	۵۲	متوسط	ضعیف	ضعیف	بالا	پایین
۱۲	بالا	متوسط	بالا	ضعیف	پایین	۵۳	متوسط	ضعیف	ضعیف	متوسط	پایین
۱۳	بالا	متوسط	متوسط	بالا	بالا	۵۴	متوسط	ضعیف	ضعیف	ضعیف	خیلی پایین
۱۴	بالا	متوسط	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش	۵۵	ضعیف	بالا	بالا	بالا	بالا
۱۵	بالا	متوسط	متوسط	ضعیف	رضایت‌بخش	۵۶	ضعیف	بالا	بالا	متوسط	رضایت‌بخش
۱۶	بالا	متوسط	ضعیف	بالا	رضایت‌بخش	۵۷	ضعیف	بالا	بالا	ضعیف	پایین
۱۷	بالا	متوسط	ضعیف	متوسط	رضایت‌بخش	۵۸	ضعیف	بالا	متوسط	بالا	رضایت‌بخش
۱۸	بالا	متوسط	ضعیف	ضعیف	پایین	۵۹	ضعیف	بالا	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش
۱۹	بالا	ضعیف	بالا	بالا	رضایت‌بخش	۶۰	ضعیف	بالا	متوسط	ضعیف	پایین
۲۰	بالا	ضعیف	بالا	متوسط	رضایت‌بخش	۶۱	ضعیف	بالا	ضعیف	بالا	پایین
۲۱	بالا	ضعیف	بالا	ضعیف	پایین	۶۲	ضعیف	بالا	ضعیف	متوسط	پایین
۲۲	بالا	ضعیف	متوسط	بالا	رضایت‌بخش	۶۳	ضعیف	بالا	ضعیف	ضعیف	خیلی پایین
۲۳	بالا	ضعیف	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش	۶۴	ضعیف	متوسط	بالا	بالا	رضایت‌بخش
۲۴	بالا	ضعیف	متوسط	ضعیف	پایین	۶۵	ضعیف	متوسط	بالا	متوسط	رضایت‌بخش
۲۵	بالا	ضعیف	ضعیف	بالا	پایین	۶۶	ضعیف	متوسط	بالا	ضعیف	پایین
۲۶	بالا	ضعیف	ضعیف	متوسط	پایین	۶۷	ضعیف	متوسط	متوسط	بالا	رضایت‌بخش
۲۷	بالا	ضعیف	ضعیف	ضعیف	خیلی پایین	۶۸	ضعیف	متوسط	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش
۲۸	متوسط	بالا	بالا	بالا	بالا	۶۹	ضعیف	متوسط	متوسط	ضعیف	پایین
۲۹	متوسط	بالا	بالا	متوسط	رضایت‌بخش	۷۰	ضعیف	متوسط	ضعیف	بالا	پایین
۳۰	متوسط	بالا	بالا	ضعیف	رضایت‌بخش	۷۱	ضعیف	متوسط	ضعیف	متوسط	پایین
۳۱	متوسط	بالا	متوسط	بالا	بالا	۷۲	ضعیف	متوسط	ضعیف	ضعیف	خیلی پایین
۳۲	متوسط	بالا	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش	۷۳	ضعیف	ضعیف	بالا	بالا	پایین
۳۳	متوسط	بالا	متوسط	ضعیف	رضایت‌بخش	۷۴	ضعیف	ضعیف	بالا	متوسط	رضایت‌بخش
۳۴	متوسط	بالا	ضعیف	بالا	رضایت‌بخش	۷۵	ضعیف	ضعیف	بالا	ضعیف	خیلی پایین
۳۵	متوسط	بالا	ضعیف	متوسط	رضایت‌بخش	۷۶	ضعیف	ضعیف	متوسط	بالا	رضایت‌بخش
۳۶	متوسط	بالا	ضعیف	ضعیف	پایین	۷۷	ضعیف	ضعیف	متوسط	متوسط	پایین
۳۷	متوسط	متوسط	بالا	بالا	بالا	۷۸	ضعیف	ضعیف	متوسط	ضعیف	خیلی پایین
۳۸	متوسط	متوسط	بالا	متوسط	بالا	۷۹	ضعیف	ضعیف	ضعیف	بالا	پایین
۳۹	متوسط	متوسط	بالا	ضعیف	رضایت‌بخش	۸۰	ضعیف	ضعیف	ضعیف	متوسط	خیلی پایین
۴۰	متوسط	متوسط	متوسط	بالا	بالا	۸۱	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف	خیلی پایین
۴۱	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	رضایت‌بخش						

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

نرمال‌سازی داده‌های پایه

اطلاعات‌پایه واردشده به سیستم باوجود پردازش‌های موازی و اعمال روش‌های استاندارد، دارای مقیاس‌های متفاوت و همچنین در دامنه‌های متفاوتی هست. لذا بجای استفاده از اطلاعات هر شاخص به‌صورت مستقیم، جهت به دست آوردن یک مقیاس عمومی و واحد برای تمامی شاخص‌ها به‌منظور سهولت تلفیق قوانین، انجام عملیات استنتاج و محاسبات فازی، تک‌تک شاخص‌ها در دامنه‌ای از ۰ تا ۱ نرمال می‌شوند (جدول ۸). ضرورت این عملیات از گستردگی دامنه و

پراکندگی بسیار مقادیر ورودی‌هاست(Dixon, 2001).

برای هر شاخص پایه I ، مقادیری به‌عنوان هدف، یک حداقل $\underline{I}$ و یک حداکثر $\overline{I}$ اختصاص می‌دهیم. مقدار هدفِ T_i ، مقدار واحدی است برابر مقدار ماکزیمم شاخص (درصورتی‌که وضعیت واحد یا منطقه دارای مقدار ماکزیمم، بهینه و ایدئال باشد) و در غیر این صورت (که اغلب نیز چنین است) مقداری بزرگ‌تر از مقدار ماکزیمم و با توجه به وضعیت تمامی واحدها خواهد بود. مقدار مینیمم نیز از مجموعه اندازه‌گیری‌های در دسترس شاخص از مجموعه واحدهای مورد ارزیابی (واحدهای برنامه‌ریزی یا مناطق مختلف) اخذ می‌شود(Andrian,2004).

در رابطه مورداستفاده چنانچه X_i مقدار شاخص I از واحد مورد ارزیابی باشد، مقدار نرمال شده آن (N_i) از رابطه شماره ۱ به دست می‌آید.

رابطه (۱) $$N_i\ (X_i) = \frac{X_i - \underline{I}}{T_i - \underline{I}}$$

جدول ۸. مقادیر نرمال شده شاخص‌های هشت‌گانه برای درختان شش‌گانه

شاخص / مکان	اکولوژیکی				اجتماعی - کارکردی			
	شرایط زیستگاه گونه	وضعیت ریشه دوانی	مقاومت بر عوامل جوی	تثبیت ریزگردها	سایه‌اندازی	رویش سالیانه	اتونومی (خود نگه‌داری)	زیبایی شناسی
اکالیپتوس	۰.۳۲	۰.۲۵	۰.۵۲	۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۲۸	۰.۸۲
نخل زینتی	۰.۷۸	۰.۴۳	۰.۸۱	۰.۱۱	۰.۱۷	۰.۰۲	۰.۴۴	۰.۳۷
نخل روغنی	۰.۷۴	۰.۴۱	۰.۸	۰.۷	۰.۰۸	۰.۰۱	۰.۳۵	۰.۱
گز	۰.۷۶	۰.۸	۰.۷۸	۰.۸۱	۰	۰	۰.۸۱	۰
توت زینتی	۰	۰	۰	۰	۰.۰۲	۰.۱۷	۰	۰.۴۹
پده	۰.۳۶	۰.۵۰	۰.۳۵	۰.۱۸	۰.۲۵	۰.۱	۰.۴	۰.۴۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

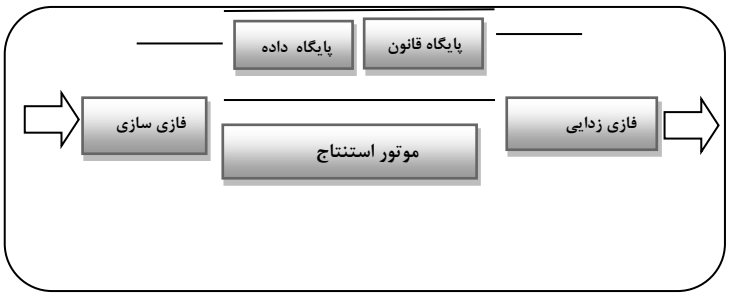
مقدار صفر در جدول فوق مربوط به مقادیر حداقل در داده‌های نرمال نشده است. گرچه می‌توان فرمول نرمال‌سازی را طوری تعریف کرد که مقادیر حداقل نیز صفر نشوند، لیکن ازآنجاکه در تعریف تابع عضویت برای فازی سازی داده‌های نرمال شکل شماره (۶) برای تمامی مقادیر کوچک‌تر از ۰/۱ ارزش زبانی ضعیف و با درجه عضویت ۱ در نظر گرفته‌شده است، نتیجه فرایند فازی سازی برای تمامی مقادیر کمتر از ۰/۱ یکسان خواهد بود.

فرایند استنتاج و محاسبات فازی مدل

در مراحل قبل با تشکیل پایگاه داده هرکدام از متغیرهای گونه درخت نهایی، مؤلفه‌های اولیه جنبه‌های اکولوژیکی و اجتماعی- فرهنگی و هشت مؤلفه ثانویه یعنی شرایط زیست‌گاه گونه، وضعیت ریشه دوانی، مقاومت در برابر عوامل جوی، و مقاومت در برابر آلودگی هوا (برای جنبه اکولوژیکی) و سایه‌اندازی، رویش سالیانه، اتونومی و جنبه‌های زیبایی‌شناسی (برای جنبه اجتماعی-فرهنگی) به‌صورت متغیرهای زبانی (فازی) و در قالب توابع عضویت مشخصی برای سیستم تعریف شدند. داده‌های اولیه شاخص‌های پایه نیز نرمال شده و به‌عنوان ورودی‌های اصلی به سیستم معرفی شدند.

تشکیل پایگاه قوانین نیز دانش، مبنا و زمینه منطقی لازم برای فرایند استدلال را فراهم آورده و اینک در این مرحله به‌عنوان اصلی‌ترین مرحله تحلیل، استدلال تقریبی و استنتاج فازی به شکل قواعد اگر-آن گاه فازی بر روی ورودی‌های مدل در مراحل مختلف آن اعمال‌شده، از خروجی هر مرحله به‌عنوان ورودی مرحله بعد استفاده خواهد شد تا آخرین

خروجی فازی سیستم استخراج‌شده و در گام بعدی مقادیر قطعی نهایی از طریق عملیات نافازی‌سازی برای انتخاب گونه درخت نهایی و هرکدام از مؤلفه‌های اولیه و ثانویه آن حاصل شود. شکل شماره ۷ مراحل اصلی و شمای کلی فرایند استنتاج در منطق فازی را نشان می‌دهد.



شکل ۶. شمای کلی و مراحل اصلی در یک سیستم استنتاج فازی
(Roger Jang, 1933)

طبق شکل (۷) سیستم استنتاج فازی ترکیبی از سه مرحله عملیات فازی سازی[۱] ، استنتاج[۲] و نافازی‌سازی[۳] است و هر دسته از مؤلفه‌های ثانویه و اولیه در این مقاله برای انتخاب گونه درخت نهایی این عملیات سه‌گانه جدول فوق را شامل می‌شود. در ادامه با ذکر مثالی به توضیح عملیات فازی سازی، استنتاج و نافازی‌سازی و محاسبات مربوطه خواهیم پرداخت.

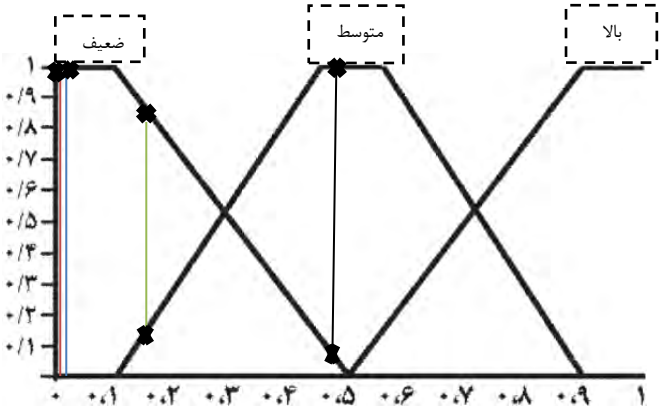
مقادیر نرمال شده چهار زیر معیار جنبه اجتماعی–کارکردی برای درخت توت زینتی از جدول شماره (۷) به ترتیب برابر است با: سایه‌اندازی (۰/۰۲)، رویش سالیانه (۰/۱۷)، اتونومی(خود نگه‌داری) (۰) و زیبایی‌شناسی (۰/۴۹) که بر اساس قوانین منطقی جدول شماره (۵) (پایگاه قانون) و با توجه به توابع عضویت شکل‌های شماره (۵ و۶) (پایگاه داده) مقدار خروجی جنبه‌های اجتماعی–کارکردی استنتاج خواهد شد.

فازی سازی

در این مرحله چهار زیر معیار انتخابی (وضعیت سایه‌اندازی، رویش سالیانه، اتونومی و زیبایی‌شناسی) را با توجه به شکل شماره (۶) و معادلات خطی توابع عضویت (که برای رعایت اختصار از آوردن آن در متن اصلی خودداری شده است) تبدیل به مقادیر فازی می‌کنیم. شکل شماره (۸) فرایند فازی سازی داده‌های نرمال را نشان می‌دهد.

[1]. Fuzzification
[2]. Inference
[3]. Defuzification

وضعیت سایه‌اندازی (۰/۰۲)
رویش سالیانه (۰/۱۷)
اتونومی(خود نگه‌داری) (۰)
جنبه زیبایی‌شناسی (۰/۴۹)



شکل ۷) مقادیر زبانی و فازی سازی ورودی‌های قطعی

ورودی اول: وضعیت سایه‌اندازی به مقدار ۱(۱۰۰٪) ضعیف می‌باشد.
ورودی دوم: رویش سالیانه به مقدار ۰/۱۹ متوسط و به مقدار ۰/۸۰ ضعیف می‌باشد.
ورودی سوم: اتونومی(خود نگه‌داری) به مقدار ۱(۱۰۰٪) ضعیف می‌باشد.
ورودی چهارم: جنبه زیبایی‌شناسی به مقدار ۰/۰۸ضعیف و به مقدار ۱(۱۰۰٪) متوسط می‌باشد.

استنتاج

با توجه به خروجی‌های بالا تنها قوانینی از پایگاه قانون با این ورودی‌ها سازگارند که در آن‌ها وضعیت سایه‌اندازی باارزش زبانی ضعیف ، رویش سالیانه متوسط و ضعیف، اتونومی(خود نگه‌داری) ضعیف و جنبه زیبایی‌شناسی متوسط و ضعیف بیان‌شده باشد. با مراجعه به قوانین مؤلفه اولیه جنبه اجتماعی-کارکردی (جدول شماره ۶) تنها چهار قانون ۷۱، ۷۲، ۸۰ و ۸۱ نشان‌دهنده این شرایط هستند، و همان‌طور که تالی این چهار قانون نشان می‌دهد جنبه اجتماعی-کارکردی درخت توت تزئینی را پایین و خیلی پایین استنتاج می‌کند.

اینک به با در نظر گرفتن خروجی‌های فازی شده و قوانین چهارگانه فوق، مقدار جنبه اجتماعی-کارکردی درخت توت تزئینی را بر اساس ((قانون ترکیبی استنتاج))[1] (CRI) و طی دو مرحله استنتاج می‌کنیم (Cornelissen, 2001).

در این مرحله فرایند استلزام[2] صورت می‌گیرد یعنی بر اساس مقادیر عضویت مقدمات (صغرای[3] منطقی) هر قانون، برای ترم زبانی بخش تالی (کبرای[4] منطقی) نیز درجه‌ای از عضویت محاسبه می‌شود (امینی فسخودی، ۱۳۸۴). روش‌های متنوعی به‌منظور استلزام وجود دارد. ازجمله معروف‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها روش استلزام پرفسور زاده، سوگنو[5] و ممدانی[6] می‌باشد. در روش ممدانی – روش مورداستفاده در این مقاله- از عملگر min برای بیان ((و)) منطقی در قسمت مقدمات قوانین استفاده می‌شود. بدین ترتیب حداقل مقادیر عضویت مقدمات هر قانون تعیین‌کننده درجه عضویت تالی[7] آن قانون خواهد بود (Storm,2005 و وحیدیان ۱۳۸۱).

بر این اساس نتیجه قوانین چهارگانه فوق بر روی درخت توت تزئینی به‌صورت زیر خواهد بود:

قانون ۷۱: اگر وضعیت سایه‌اندازی گونه به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و رویش سالیانه به میزان ۰/۱۹ متوسط و خود

---

1. Compositional Rule of Inference
2. Implication Process
3. Minor Promise
4. Major Promise
5. Suggeno Implication Method
6. Mamdani Implication Method

نگه‌داری به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و زیبایی‌شناسی به میزان ۱ (۱۰۰٪) متوسط باشد آنگاه جنبه اجتماعی– فرهنگی به میزان Min{۱، ۱، ۰/۱۹، ۱}=۰/۱۹ پایین است.

قانون ۷۲: اگر وضعیت سایه‌اندازی گونه به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و رویش سالیانه به میزان ۰/۱۹ متوسط و خود نگه‌داری به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و زیبایی‌شناسی به میزان ۰/۰۸ ضعیف باشد آنگاه جنبه اجتماعی– فرهنگی به میزان Min{۱، ۰/۱۹، ۱، ۰/۰۸}=۰/۰۸ خیلی پایین است.

قانون ۸۰: اگر وضعیت سایه‌اندازی گونه به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و رویش سالیانه به میزان ۰/۸۰ضعیف و خود نگه‌داری به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و زیبایی‌شناسی به میزان ۱ (۱۰۰٪) متوسط باشد آنگاه جنبه اجتماعی– فرهنگی به میزان Min{۱، ۱، ۰/۸۰، ۱}=۰/۸۰ خیلی پایین است.

قانون ۸۱: اگر وضعیت سایه‌اندازی گونه به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و رویش سالیانه به میزان ۰/۸۰ ضعیف و خود نگه‌داری به میزان ۱(۱۰۰٪) ضعیف و زیبایی‌شناسی به میزان ۰/۰۸ ضعیف باشد آنگاه جنبه اجتماعی– فرهنگی به میزان Min{۱، ۰/۸۰، ۱، ۰/۰۸}=۰/۰۸ خیلی پایین است.

مقدار عضویت ۷۷ قانون دیگر برای استنتاج جنبه اجتماعی– فرهنگی درخت توت تزئینی برابر صفر می‌باشد.

در این مرحله از استنتاج، هدف ترکیب نتایج فازی چهار قانون مورداستفاده و تولید خروجی واحدی برای جنبه اجتماعی– کارکردی در قالب یک مجموعه فازی می‌باشد. در مورد درخت توت تزئینی از بین پنج مقدار زبانی خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین تعریف‌شده برای جنبه اجتماعی– فرهنگی در پایگاه داده، تنها دو مقدار خیلی پایین و پایین در نتایج چهار قانون مورداستفاده وجود داشته است. بنابراین در خروجی فازی نهایی نیز همین دو مقدار استفاده خواهند شد.

ازآنجایی‌که مقدار زبانی پایین تنها درنتیجه قانون ۷۱ و با درجه عضویت ۱۹٪ وجود دارد با همین درجه نیز در خروجی اجتماعی– فرهنگی درخت توت تزئینی استفاده خواهد شد. اما مقدار زبانی خیلی پایین که درنتیجه سه قانون دیگر و با درجات مختلف ۰۸٪ ، ۸۰٪ و ۰۸٪ وجود دارد. بدین منظور درجه عضویت نهایی برای مقدار خیلی پایین از تلفیق[1] این درجات محاسبه می‌گردد. درروش ممدانی از عملگر max برای حل این مسئله استفاده می‌شود (storm, 2005 و وحیدیان، ۱۳۸۱). درنتیجه میزان خیلی پایین بودن جنبه اجتماعی– کارکردی درخت توت تزئینی برابر ۸۰٪=max{۰۸٪، ۸۰٪ و ۰۸٪} در نظر گرفته خواهد شد. بنابراین جنبه اجتماعی– کارکردی درخت توت تزئینی با درجه عضویت ۸۰٪ خیلی پایین و با درجه عضویت ۱۹٪ پایین است.

$$\text{جنبه اجتماعی– کارکردی درخت توت} = \left\{\frac{VL}{\%80}, \frac{L}{\%19}\right\}$$

نافازی‌سازی

به‌منظور استفاده عملی و امکان بکار گیری خروجی فازی در تحلیل‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های بعدی و مشخص شدن ماهیت عمل انجام‌گرفته به‌وسیله سیستم (Ross, 1995)، باید خروجی از حالت فازی به مقدار قطعی و قابل‌استفاده در تحلیل‌ها تبدیل گردد.

سومین و آخرین قسمت فرایند استنتاج، که به نافازی‌سازی معروف است، درواقع واحدی است که به‌صورت تابعی از یک مجموعه فازی به یک مقدار قطعی عمل کرده (Dixon, 2001) و مقادیر خیلی پایین جنبه اجتماعی– کارکردی به مقدار ۸۰٪ و پایین آن به مقدار ۱۹٪ برای درخت توت تزئینی را به مقدار قطعی واحدی به‌عنوان درجه توسعه‌یافتگی تبدیل می‌کند.

[1]. Aggregation

روش‌های متنوع و زیادی برای نافازی‌سازی نتایج فازی استنتاج وجود دارد مانند روش Bisector، Centroid ، Sum ، Mom, Lomو ... که در این مقاله از روش centroid یا مرکز ثقل بدین منظور استفاده‌شده است. درروش مرکز ثقل مقدار قطعی نهایی مرکز سطح زیر منحنی در مجموعه فازی نهایی است. فرمول محاسبه مرکز ثقل برای مثال موردبررسی عبارت است از:

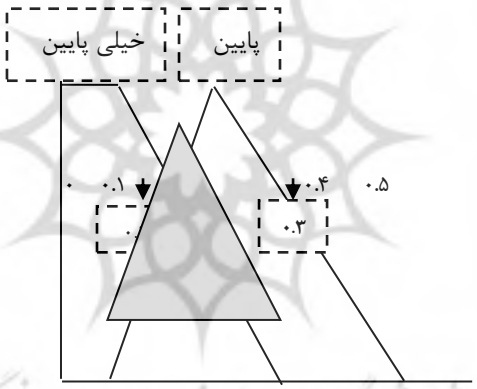
رابطه (۲)

$$Def(T_{CD}) = \frac{\sum_j x_j.\mu_{T_{CD}}(X_j)}{\sum_j \mu_{T_{CD}}(X_j)}$$

X_j معرف مقدار یا مرکزیت j امین عضو یا مقدار زبانی (سطح زیر منحنی تابع عضویت مربوطه) در مجموعه فازی خروجی روی محور افقی و $\mu_{T_{CD}}(X_j)$ نیز درجه عضویت j امین مقدار زبانی در مجموعه فازی خروجی است. به‌این‌ترتیب ملاحظه می‌شود که مرکز ثقل را می‌توان نقطه‌ای روی محورx (افقی) در نظر گرفت که با فرض سطح کل زیر منحنی به‌عنوان صفحه‌ای با چگالی یکسان، حول آن تعادل داشته باشد(Ross, 1995).

در مثال موردبررسی ما یعنی استنتاج جنبه اجتماعی– فرهنگی درخت توت تزئینی با استفاده از زیر معیارهای سایه‌اندازی، رویش سالیانه، خود نگه‌داری و زیبایی‌شناسی، مقدار نا فازی نهایی خروجی سیستم استنتاج فازی برابر خواهد بود با :

$$T_{CD} = ((۰.۱۲۵\times۰.۸۰) + (۰.۳\times۰.۱۹) / (۰.۸۰+۰.۱۹) = ۰.۱۵۸$$



شکل ۸. نمایش گرافیکی نافازی‌سازی به روش مرکز ثقل

که در آن مقدار ۰.۱۲۵ برای مرکزیت سطح زیر منحنی خیلی پایین از معادله ((۰.۱۵.۳) + (۰.۱۵.۲)) به‌دست‌آمده است. عدد ۰.۳ نیز مرکزیت مقدار زبانی پایین می‌باشد که بر اساس معادله تابع عضویت مربوطه حساب‌شده است (به شکل شماره ۵ مراجعه کنید).

عملیات استنتاج شرح داده‌شده در فوق برای ارزیابی و محاسبه تک‌تک مؤلفه‌های اولیه و گونه‌های درخت هدف شامل اکالیپتوس، نخل روغنی، نخل زینتی، گز، توت زینتی و پده به‌طور جداگانه و با استفاده از موتور استنتاج فازی نرم‌افزار متلب اجرا شد. جدول شماره ۹ نتایج حاصل از این استنتاجات را نشان می‌دهد.

جدول ۹. جدول نهایی حاصل از یافته های تحقیق

درخت / معیار	اکالیپتوس	نخل زینتی	نخل روغنی	گز	توت تزئینی	پده
اکولوژیکی	۰.۳۲۵	۰.۳۸۱	۰.۶۲۷	۰.۷۵	۰.۱۰۲	۰.۳۴۶
اجتماعی-کارکردی	۰.۴۱۳	۰.۳۴۱	۰.۱۲۵	۰.۱۱۲	۰.۱۵۸	۰.۳۴۸
وزن نهایی	۰.۲۷۳	۰.۲۶۳	۰.۲۵۵	۰.۱۶۷	۰.۱۲۵	۰.۲۲۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج شماره ۹ در مواردی هیچ‌گونه ارتباط معناداری را بین ابعاد اکولوژیکی و اجتماعی- کارکردی گونه‌های درختی و وزن نهایی آن‌ها نشان نمی‌دهد. مثلاً درخت گز باوجود برتری اکولوژیکی قابل‌توجه نسبت به دیگر درختان موردمطالعه (ECO= ۰.۷۵)، دارای جنبه اجتماعی- کارکردی ضعیفی می‌باشد (SCF= ۰.۱۱۲)، و همین امر باعث نزول وزن نهایی آن به ۰.۱۶۷ شده است. ولی در مواردی نیز (مثلاً درخت نخل) به دلیل شیب ملایم اختلاف بین دو معیار، وزن نهایی نیز مقدار قابل‌قبول‌تری را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین شاخص وزن نهایی بیشتر متمایل به سمت اوزان جنبه‌های اجتماعی- کارکردی است.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نهایی حاکی از تقسیم‌بندی گونه‌های درختی به سه دسته است. دسته اول (توت تزئینی) شامل گونه‌ای می‌شود که ازنظر هر دو جنبه اکولوژیکی و اجتماعی- کارکردی دارای وزن ضعیفی می‌باشد و همین امر باعث کسب وزن نهایی خیلی پایین و یا درواقع قرار گرفتن آن‌گونه در اولویت آخر (انتخاب برای کاشت) از بین گونه‌های موردبررسی شده است. دسته دوم شامل درختانی می‌شود که بین جنبه‌های اکولوژیکی و اجتماعی- کارکردی آن‌ها اختلافات فاحشی وجود دارد و همین مسئله، باوجود برتری آن درختان در زمینه جنبه‌هایی خاص، درنهایت باعث نزول وزن نهایی و قرار نگرفتن آن‌ها در اولویت‌های اول برای کاشت شده است (نخل روغنی و گز). دسته سوم شامل درختانی می‌شود که بین جنبه‌های مذکور آن‌ها، یک نوع ارتباط و هارمونی را شاهد هستیم و همین مسئله باعث شده است که باوجود کسب امتیازهای متوسط و گاهاً پایین توسط بعضی از زیر معیارهای آن‌ها درمجموع وضعیت مطلوب‌تری را نسبت به دودسته قبلی، از خود نشان دهند و به‌بیان‌دیگر اولویت اول برای کاشت را به خود اختصاص می‌دهند (اکالیپتوس، نخل زینتی و پده).

پیشنهادها

معیارهای دوگانه موردبررسی در این مقاله و زیرمعیارهای هشت‌گانه مربوط به آن‌ها باوجودآنکه ابعاد قابل‌توجه و مختلفی از بایدها و نبایدهای گونه‌های درختی و مزیت‌ها و معایب مربوط به این گونه‌ها را به تصویر می‌کشند لیکن در کنار این معیارها می‌توان شاخص‌های دیگری همچون جنبه‌های اقتصادی و فرهنگی و زیرمعیارهای مربوطه را نیز بدان‌ها افزود و در راستای نتایجی جامع‌تر و کاربردی‌تر پیش رفت.

پرداختن به این مباحث از حوصله مقاله حاضر خارج بوده و ازآنجاکه خود مبحثی مستقل و مفصل است، مستلزم مقاله جداگانه دیگری است.

منابع

احمدی، م (۱۳۷۷). مقدمه ای بر اصول زیبایی شناسی، مجموعه مقالات همایش آموزش و پژوهشی سازمان پارک ها و فضای

سبز شهر تهران، جلد دوم.

امینی فسخودی، ع (۱۳۸۴)، کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای، *مجله دانش و توسعه*، شماره ۱۷، نیمه دوم سال ۱۳۸۴.

آسایش، ح و استعلاجی،ع. (۱۳۸۲). *اصول و روش‌های برنامه‌ریزی ناحیه‌ای (مدل، روش‌ها و فنون)*. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری.

جعفری، م، رسولی،ب،عرفانزاده،ر،مرادی،ح (۱۳۸۴). بررسی تأثیر کشت گونه‌های تاغ، آتریپلکس و گز بر خصوصیات خاک در مسیر بزرگراه تهران قم، *مجله منابع طبیعی*، ۵۸ (۴) ۹۲۱.

سلیمی کوچی، ح (۱۳۹۲). *بهبود درآورد درصد پوشش گیاهی در مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند مقیاس*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی (دانشکده مهندسی نقشه‌برداری).

شبان، م (۱۳۸۴). *تعیین و مقایسه مقاوت به خشکی تعدادی از درختان و درختچه های منطقه جنگلی البرز و زاگرش تحت تنش خشکی و شرایط طبیعی*. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.

صالحه شوشتری، م، بهنام فر،ک، غدیری پور، پ، فرزاد، م (۱۳۹۰). معرفی تعدادی از گونه‌های سازگار درختی، درختی، درختچه‌ای وزینتی در نقاط مختلف اکولوژیکی استان خوزستان، همایش باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، آبان ۱۳۹۰.

طاهری، س. (۱۳۷۸)، *آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی*، مشهد: جهاد دانشگاهی مشهد.

غفاری شیروان، ج. (۱۳۷۷). مروری بر وضعیت بهره برداری منابع آب ایران، مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ص ۳۹۵– ۴۰۵.

کاتبی، س (۱۳۸۱). یادگیری تکاملی سیستمهای فازی. مجموعه مقالات مباحثی در نظریه مجموعه‌های فازی، گردآورنده: رجبعلی بازوئی)، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

Andriantiatsaholiniania, L. A., V. S. Kouikoglou et al. (2004). Evaluating strategies for sustainable development: fuzzy logic reasoning and senility analysis. *Ecological Economics*, 48(2), 149-172.

Attar Software (2002). Fuzzy Logic in knowledge Builder. A White paper in: www.elsevier.com.

Cornelissen, A.M.G.J. van den Berg et al. (2001). Assessment of the contribution of nsustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 86 173-185.

Dixon, Lucas (2001). A Comparison of the Interpretation Methods for Fuzzy Inference. University of Edinburgh, in: www.elsevier.com.

Lostma, F. A, (1997). Fuzzy Logic for Planning and Decision Making, Dordrecht, *Kluwer Academic Publisher*.

Ross, T.J. (1995). FUZZY Logic whit Engine Applications. McGraw- Hill, Inc., in: www.elsevier.com.

Saaty, T L. (2004), Mathematical Methods of operations Research, courier Dover publication, New York.

Storm, (2005). Artificial Intelligence: Fuzzy Expert Systems. DeMolay Popoola, Department of Computing, University of Surrey, in: www.elsevier.com.