سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال یازدهم / شماره اول) بهار ۱۳۹۹
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

تعیین اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP)

سعیده اسکندری [۱*]، سجاد عالی محمودی سراب [۲]، سمیرا زندی‌فر [۳]

۱. استادیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. دکتری جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳. استادیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

با توجه به توقف بهره‌برداری از جنگل‌های صنعتی شمال ایران، پژوهش پیش‌رو به‌منظور تعیین اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان با تحلیل سلسله مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. شاخص‌های مورد استفاده شامل چهار شاخص اصلی منابع آبی دردسترس، کاربری اراضی، اقلیمی و خاکشناسی و ۲۲ زیرشاخص‌های مربوط به آنها (بافت خاک، عمق خاک، اسیدیته خاک، شوری خاک، فاصله از رودخانه‌ها، دبی آب رودخانه‌ها، شوری آب رودخانه‌ها، عمق آب‌های زیرزمینی، شوری آب‌های زیرزمینی، میانگین دمای سالانه، میانگین حداقل دمای سالانه، میانگین حداکثر دمای سالانه، حداقل مطلق دما، حداکثر مطلق دما، میانگین بارندگی سالانه، میانگین رطوبت نسبی سالانه، میانگین سرعت باد سالانه، بیشه‌زارهای حاشیه رودخانه‌ها، تپه‌های شنی (شن‌زارها)، اراضی جهاد نصر، زمین‌های خالی حاشیه کانال‌های نصر و زمین‌های خالی نزدیک به منابع آبی) بودند. نقشه‌های کلیه این عوامل، با استفاده از رقومی‌سازی با تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث (از تابستان ۲۰۱۷ تا تابستان ۲۰۱۹)، نمونه‌برداری زمینی (در شهریورماه ۱۳۹۸) و اطلاعات موجود تهیه شدند. همچنین نقشه اکالیپتوس‌کاری‌ها در استان خوزستان با استفاده از اطلاعات موجود در اداره کل منابع طبیعی استان و نمونه‌برداری زمینی با GPS در شهریورماه ۱۳۹۸ تهیه شد. نقشه کاربری اراضی با رقومی‌سازی کاربری اراضی/پوشش از تصاویر گوگل‌ارث ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ تهیه شد. صحت نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده با ۶۰ نقطه کنترل زمینی بررسی شد. وزن شاخص‌های مؤثر در پتانسیل‌یابی زراعت چوب اکالیپتوس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی محاسبه شد. بدین منظور تعداد ۳۰ پرسشنامه برای مقایسه زوجی شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌ها، بین کارشناسان زراعت چوب در عرصه‌های منابع طبیعی توزیع شد. سپس میانگین پرسشنامه‌های تکمیل‌شده، به‌دست آمده و با روش آنالیز توسعه‌ای فازی مثلثی چانگ تجزیه و تحلیل شد. بر این اساس، وزن نرمال میانگین هر شاخص و زیرشاخص با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی محاسبه شد. با ترکیب خطی وزنی نقشه‌های زیرشاخص‌های مؤثر، ابتدا نقشه شاخص‌های اصلی و سپس نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس تهیه شد. درنهایت، نقشه پتانسیل زراعت چوب با استفاده از نقشه مناطق کشت گونه اکالیپتوس اعتبارسنجی شد و دقت آن در شناسایی مناطق مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان ارزیابی شد. نتایج نشان داد که از بین شاخص‌های اصلی، منابع آبی و کاربری اراضی بیشترین اهمیت را براساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در تعیین اراضی مستعد کشت اکالیپتوس در استان خوزستان داشتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، ۱۲/۸۳ درصد از منطقه پتانسیل بسیار خوب و ۱۰/۴۷ درصد آن پتانسیل خوب برای اکالیپتوس‌کاری داشت. نتایج ارزیابی صحت نقشه پتانسیل زراعت چوب نیز نشان داد که فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی با صحت کلی ۸۲ درصد دقت مطلوبی در شناسایی مناطق مستعد زراعت چوب در استان خوزستان داشته است.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۱۱ آذر ۱۳۹۸
پذیرش: ۱۷ اسفند ۱۳۹۸
دسترسی اینترنتی: ۲۸ فروردین ۱۳۹۹

واژه‌های کلیدی:
زراعت چوب
اکالیپتوس
تحلیل سلسله مراتبی فازی
سیستم اطلاعات جغرافیایی
استان خوزستان

[*] پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: s.eskandari@rifr.ac.ir

مقدمه

کشور ایران ازجمله کشورهای کم‌جنگل جهان محسوب می‌شود که همواره با چالش‌های محیط زیستی ناشی از تخریب جنگل‌ها و مشکلات اقتصادی تأمین چوب روبه‌رو است. براساس آثار و شواهد تاریخی، درگذشته سطح بسیاری از کشور ما (۱۸ میلیون هکتار) پوشیده از جنگل بوده است، اما به علت نبود مدیریت صحیح به حدود ۱۲ میلیون هکتار کاهش‌یافته است. همچنین در شمال کشور در اثر بهره‌برداری بی‌رویه و عدم همخوانی تولید با نیاز، تخریب جنگل‌ها سالانه ۵۰ هزار هکتار برآورد شده است. لذا انجام کارهای اصولی و سریع برای تولید چوب متناسب با افزایش روزافزون جمعیت کشور ضروری است (۱۳). بر این اساس، زراعت چوب و توسعه پایدار آن با توجه به کمبود منابع جنگلی، مخاطرات فراوان محیط زیستی و تغییر اقلیم پیش‌رو، ازجمله راهبردهای اساسی تأمین چوب کشور محسوب می‌شود (۲۲). زراعت چوب در کشورهایی که دارای پوشش جنگلی کم هستند، به‌عنوان یک جایگزین و راهکاری مطمئن برای تأمین نیاز چوبی آن کشور توصیه می‌شود. رویکرد توقف بهره‌برداری از جنگل‌های تجاری شمال کشور ازیک‌طرف و هزینه‌های زیاد واردات چوب با توجه به نوسانات امروزی بازار ارز از طرف دیگر، ضرورت و اهمیت زراعت چوب در ایران را دوچندان کرده است. از اساسی‌ترین راهکارهای رویارویی با تخریب جنگل‌ها، کاهش فشار بر عرصه‌های جنگلی و تأمین نیاز چوبی کشور، توسعه زراعت چوب با استفاده از درختان تند رشد همچون اکالیپتوس است تا بتوان درزمانی کوتاه، نیاز بسیاری از کارخانه‌ها و صنایع چوب کشور را تأمین نمود. در حال حاضر زراعت چوب با درختان تند رشد به‌خصوص اکالیپتوس و صنوبرها باهدف کاهش فشار بر جنگل‌های ایران موردتوجه قرارگرفته است، به‌طوری‌که در استان‌های جنوبی و شمالی کشور، زراعت چوب در اولویت برنامه‌های ترویجی بهره‌برداران قرار دارد (۱۳).

با توجه به گستره وسیع ایران و مناطق اکولوژیکی و اقلیمی مختلف در کشور و نیز سازگاری گونه‌های مختلف چوب‌ده در هر منطقه اکولوژیک، ضروری است زراعت چوب در هر منطقه اکولوژیکی و اقلیمی کشور، متناسب با گونه‌های چوبده مناسبی که بیشترین سازگاری را برای آن منطقه دارند، انجام گیرد. در این میان اکالیپتوس‌ها با توجه به سازگاری در مناطق گرمسیری و مقاومت نسبی به شوری و تاحدی خشکی محیط (۱۰، ۱۱، ۱۸ و ۲۹) می‌توانند یکی از بهترین گزینه‌ها برای زراعت چوب در مناطق جنوبی کشور باشند (٤، ۵، ۱۲، ۲۱ و ۲٦). نتایج مطالعات زیادی سازگاری و رشد مطلوب اکالیپتوس‌ها در مناطق گرمسیری و نیمه‌خشک جهان مانند آفریقا، هند و برزیل را نشان داده است (۲۹، ۳۰ و ۳۳). نتایج مطالعاتی که در خصوص زراعت چوب اکالیپتوس در جهان انجام‌شده است نشان می‌دهد که درختان اکالیپتوس می‌توانند حجم زیادی از چوب‌های تونلی را برای ساخت‌وساز و فراورده‌های چوبی را برای چوب سوخت و ساختمان‌سازی در دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت بدون نیاز به مدیریت طولانی‌مدت تولید کنند (٤٦). قابلیت تولید زیاد کاشت اکالیپتوس، مهم‌ترین مسئله تجاری در زراعت چوب با گونه اکالیپتوس است (۳۰) باوجود اهمیت موضوع زراعت چوب در ایران، تاکنون تحقیقی در خصوص پتانسیل‌یابی اکولوژیک و شناخت اراضی مستعد کاشت گونه‌های چوب‌ده در ایران انجام‌نشده است. بااین‌حال پژوهش‌هایی در خصوص سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس برای زراعت چوب و جنگل‌کاری در مناطق جنوبی ایران انجام‌شده است که می‌توان از نتایج آن‌ها برای انتخاب بهترین گونه اکالیپتوس برای زراعت چوب در جنوب کشور بهره برد. صالحه‌شوشتری (۱۲) مؤثرترین دور آبیاری تکمیلی برای استقرار اولیه چهار گونه پرووناانس اکالیپتوس در تپه‌های شنی شمال غرب رودخانه کرخه را بررسی کرد. بدین منظور چهار گونه و پرووناانس اکالیپتوس (تیمار فرعی) با چهار دور آبیاری (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ روزه) و یک تیمار شاهد (بدون آبیاری) به‌عنوان تیمار اصلی در سال ۱۳۷۲ کاشت شدند. فواصل کاشت درختان ۵×۵ بوده و طرح به مدت پنج سال ادامه داشت. پارامترهای موردبررسی درصد زنده‌مانی، رشد رویش قطری و ارتفاعی بود. نتایج نشان داد که حداکثر درصد

زنده‌مانی مربوط به تیمار ۱۰ روزه آبیاری با میانگین ٦٥/٣٢ درصد و حداقل آن مربوط به تیمار شاهد با میانگین ٣٣/٧٣ درصد بود. گونه *E.camaldulensis 9616* بارزترین گونه ازنظر زنده‌مانی (٦٩/٥١ درصد)، حداکثر میانگین رشد ارتفاعی (٥/٤٧ متر) و حداکثر میانگین رشد قطری (٥٥/٠٦ میلی‌متر)، بود. نجفی (٢٦) سازگاری گونه‌های اکالیپتوس مقاوم به خشکی و گرما را در تپه‌های شنی و شنزارهای خوزستان بررسی کرد. به‌منظور انتخاب گونه سازگار اکالیپتوس، این پژوهش از سال ١٣٧٢ در شمال غرب رودخانه کرخه بر روی تپه‌های شنی مالچ‌پاشی‌شده در یک طرح آماری در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با چهار گونه و پرووونانس اکالیپتوس به‌صورت دیم اجرا شد. فواصل کاشت ٣×٣ متر بوده و بررسی برای هفت سال ادامه داشت. پارامترهای زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی مربوط به گونه *E.camaldulensis 9616* بود. حمزه‌پور (٥) سازگاری و عملکرد پرووونانس‌های گونه‌های صنعتی اکالیپتوس در استان فارس را بررسی کرد. مرحله اول طرح به مدت پنج سال در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تعداد ١٥ گونه و پرووونانس اکالیپتوس به فاصله ٣*٣ متر کاشت شدند و زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی دو بار در سال و کیفیت و درصد تاج پوشش یک‌بار در سال بررسی شدند. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، گونه‌های *E.camaldulensis 15195* و *E.camaldulensis 15272* و *E.camaldulensis 15023* ازنظر درصد زنده‌مانی در بالاترین رده و ازنظر رویش قطری و ارتفاعی در طبقه میانی قرار گرفتند. حسین‌زاده (٤) سازگاری و عملکرد پرووونانس‌های گونه‌های صنعتی اکالیپتوس را در ایستگاه محسن آب مهران استان ایلام بررسی کرد. از ابتدای کاشت، به گونه‌ها پنج سال دیگر اجازه رشد داده شد. آماربرداری پایه‌ها به‌صورت سالانه شامل زنده‌مانی، قطر برابر سینه، ارتفاع کل و قطر تاج پوشش بود. از مجموع ١٨ گونه موردآزمایش، ٨ گونه و رقم زنده‌مانی بیشتر از ٥٠ درصد داشتند. در رابطه با تنش گرمایی در منطقه مهران، گونه *E.camaldulensis* بیشترین مقاومت و کمترین آسیب‌پذیری را داشت. کلاگری (٢١) عملکرد برخی از گونه‌های اکالیپتوس در دوره‌های بهره‌برداری کوتاه‌مدت در سه ایستگاه خوزستان، گلستان و سمنان را بررسی کرد. هدف، بررسی مقایسه عملکرد تولید چوب در واحد سطح و امکان بهره‌برداری کوتاه‌مدت از طریق مدیریت جست‌ها در گونه‌های مختلف اکالیپتوس و پرووونانس‌های این‌گونه بود که در بهمن ١٣٨٩ در سه ایستگاه خوزستان، گلستان و سمنان به مدت پنج سال اجرا شد. در این راستا شش گونه اکالیپتوس انتخاب و در قالب طرح بلوک تصادفی خردشده در سه تکرار اجرا شدند. در پایان سال اول پس از کاشت نهال‌ها به‌جز شاهد، بقیه نهال‌ها از یقه قطع و کف‌بر شدند. آماربرداری هرساله از درصد زنده‌مانی، ارتفاع و قطر جست‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که *E.camaldulensis* با بیش از ٨٠ درصد زنده‌مانی در هر سه ایستگاه موردبررسی، بهترین گونه بود. در ایستگاه شوشتر حداکثر رشد ارتفاعی در تیمار شاهد (عدم قطع) به *E.camaldulensis* (با مبدأ خوزستان و گرگان) اختصاص داشت.

باوجود پژوهش‌های انجام‌شده در مورد سازگاری کاشت اکالیپتوس در ایران، تاکنون پژوهشی که مناطق مستعد زراعت چوب با گونه اکالیپتوس در مناطق جنوبی ایران را با روشی دقیق و نوین شناسایی کند، انجام‌نشده است. به‌منظور ارزیابی توان اکولوژیک و اولویت‌بندی اراضی برای زراعت چوب با گونه‌های مناسب، به حجم زیادی از اطلاعات مختلف نیاز است که سازمان‌دهی آن‌ها با ابزارهای قدرتمند سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان‌پذیراست. تصاویر ماهواره‌ای رقومی به دلیل پوشش وسیع و تکراری، کاهش حجم اطلاعات میدانی، کاهش هزینه و به‌هنگام بودن اطلاعات در تهیه لایه‌های رقومی لازم برای پتانسیل‌سنجی زراعت چوب کمک شایانی می‌کنند. همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت بسیار زیادی در رقومی‌سازی اطلاعات مکانی، نقشه‌سازی، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، ادغام لایه‌های رقومی و تهیه نقشه‌های نهایی دارد. ازاین‌رو در این پژوهش، برای اولین بار اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان با استفاده

از تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy Analytic Hierarchy Process; FAHP) با به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی شناسایی می‌شود تا در اختیار بخش اجرا، بهره‌برداران و زارعان چوب قرار گیرد. نظر به اینکه طبق تحقیقات گذشته که در بالا ذکر شد، گونه *E.camaldulensis* و ارقام مختلف آن ازنظر سازگاری و مقاومت به خشکی و گرمای محیط بهترین پاسخ را داده است و بیشترین زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی را در جنوب کشور نشان داده است، گونه پیشنهادی اکالیپتوس برای این پژوهش *E.camaldulensis* است.

مواد و روش‌ها

معرفی جنس اکالیپتوس (*Eucalyptus*)

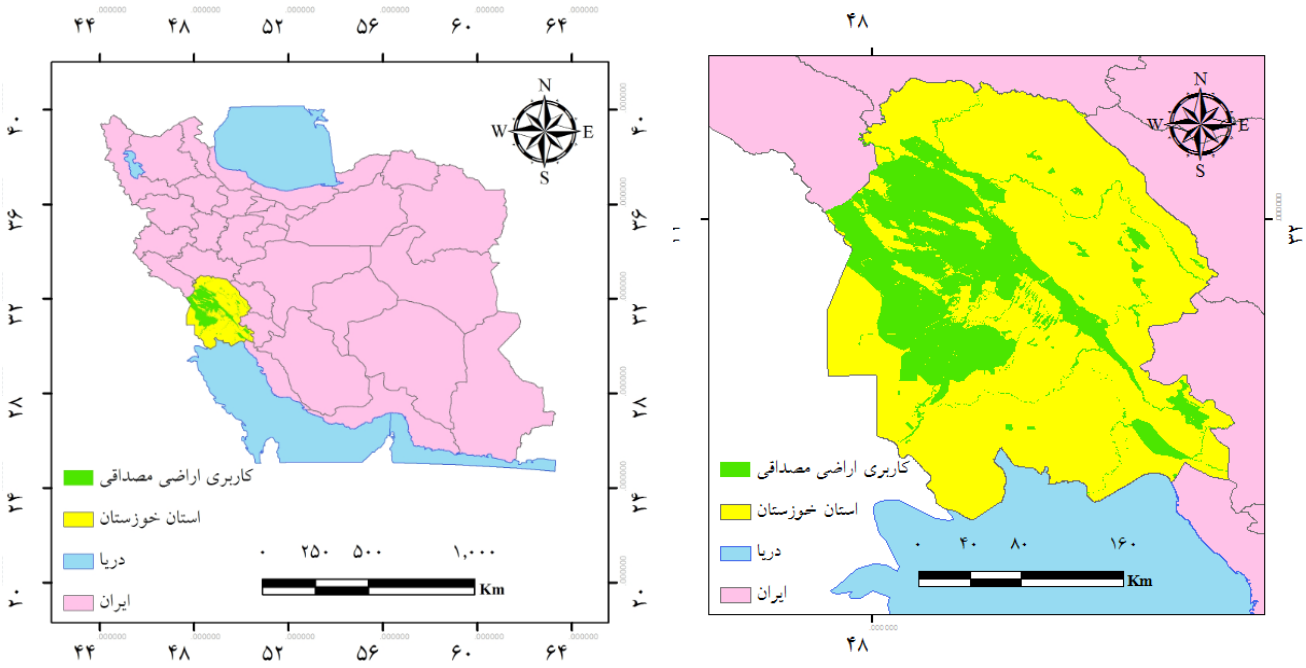
اکالیپتوس یکی از جنس‌های بسیار مهم خانواده میرتاسه (Myrtaceae) است که بیش از ۷۰۰ گونه دارد. اکالیپتوس‌ها درختانی استرالیایی و درواقع بیشتر گونه‌های جنس اکالیپتوس، بومی این قاره‌اند (۱۱، ۲۹ و ۳۳). برخی از گونه‌های این جنس دارای ارزش صنعتی و برخی دیگر ازنظر منظر و فضای سبز ارزشمند هستند (۳۹). این‌گونه به‌صورت گسترده در مناطق گرمسیری، نیمه‌گرمسیری و معتدل جهان کشت می‌شود (۲۹). اکالیپتوس دامنه بردباری گسترده‌ای در شرایط محیطی مختلف دارد (۱۱)، به همین دلیل بعضی از گونه‌های این جنس در مقایسه با گونه‌های گیاهی دیگر، مقاوم به گرما و شوری هستند (٤٥).

اکالیپتوس‌ها به‌طور عمده به‌عنوان منبع تولید چوب، کاغذسازی، چوب هیزمی، چوب سوخت و ذغال چوب، تیرهای تونلی، تخته‌خرده‌چوب و اسانس‌های روغنی کشت می‌شوند (۳۳). بیش از یکصد سال پیش این‌گونه به ایران وارد شد و در جنوب کشور، کاشته شد.

در سه دهه اخیر، آزمایش بر روی گونه‌های اکالیپتوس در استان‌های مختلف و همچنین جنگل‌کاری پراکنده توسط دستگاه‌های اجرایی و تحقیقاتی انجام‌شده است. در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس از گونه‌های مختلفی استفاده‌شده که گونه *E.camaldulensis* به‌علت برخورداری از سازگاری اکولوژیکی فراوان، تولید چوب زیاد، بهره‌برداری‌های کوتاه‌مدت و استفاده در صنایع مانند خمیرکاغذ، روکش‌گیری، مصارف دارویی، زینتی، تولید روغن‌های فرار و نجاری، موردتوجه بسیاری قرارگرفته است (۱۳). در ایران نیز کشت گونه *E.camaldulensis* در مناطق جنوبی کشور (استان بوشهر) به‌دلیل سازگاری با تنش‌های خشکی و شوری، بیشترین موفقیت را نسبت به گونه‌های دیگر اکالیپتوس نشان داده است (۱۱).

منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه این پژوهش استان خوزستان است که با مساحتی حدود ٦/٤ میلیون هکتار در موقعیت جغرافیایی ´٤٧°٤١ تا ´٥٠°٣٩ طول شرقی و ´٢٩°٥٨ تا ´٣٣°٠٤ عرض شمالی و در جنوب غربی کشور واقع‌شده است (شکل ۱). این استان از شمال با استان‌های ایلام، لرستان، چهارمحال و بختیاری، از شرق با کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با بوشهر و خلیج‌فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است. استان خوزستان ازنظر هواشناسی جزء دشت‌های ساحلی خلیج‌فارس و جزء مناطق گرم و خشک جنوب با ناحیه رویشی خلیجی است. میزان بارندگی سالانه در این استان ۲۵۵ میلی‌متر و میزان تبخیر سالانه ۲۱۰۰ میلی‌متر است. شمال و شرق استان خوزستان را سلسله جبال زاگرس محصور نموده است که به سمت جنوب غرب از ارتفاع آن کاسته شده و در نواحی جنوبی‌تر به‌صورت تپه‌ماهورهایی نمایان می‌شود. لذا ازنظر پستی‌وبلندی، خوزستان به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. یکی از فعالیت‌های بسیار مهم استان در حوزه منابع طبیعی، فعالیت‌های جنگل‌کاری است. استان خوزستان دارای ۸۹۰۰۰۰ هکتار جنگل طبیعی در مناطق کوهپایه‌ای و همچنین ۳۵۵۸۰ هکتار جنگل‌های دست‌کاشت است.

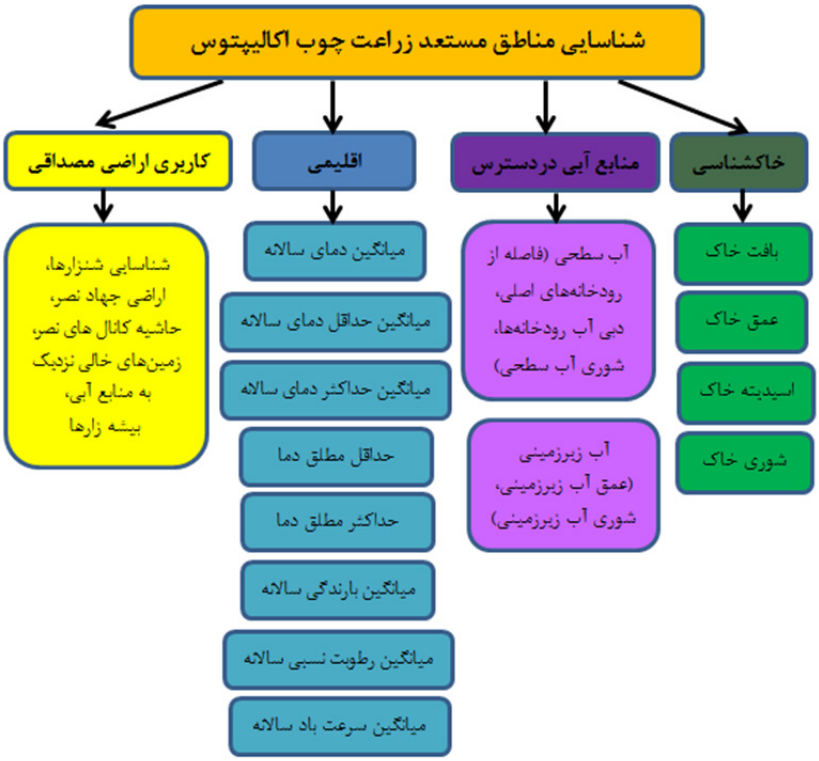


شکل ۱. موقعیت استان خوزستان و اراضی مصداقی آن برای زراعت چوب اکالیپتوس در ایران

روش تحقیق

این تحقیق شامل چند مرحله اصلی است؛ جمع‌آوری داده‌ها و آماده‌سازی نقشه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در تعیین اراضی مستعد اکالیپتوس‌کاری، تعیین وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، اختصاص وزن به هریک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، ترکیب خطی وزن‌دار نقشه‌های زیرشاخص‌ها و شاخص‌ها براساس وزن و اهمیت آن‌ها در محیط GIS و تهیه نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس، و اعتبارسنجی نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس با استفاده از اکالیپتوس‌کاری‌های موجود.

داده‌های مورداستفاده برای انجام این پژوهش شامل چهار شاخص اصلی خاکشناسی، منابع آبی، اقلیمی و کاربری اراضی و ۲۲ زیرشاخص آن‌ها (شکل ۲) و همچنین داده‌های اکالیپتوس‌کاری گذشته بودند. این شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بر مبنای تحقیقات انجام‌شده پیشین در خصوص سازگاری کاشت اکالیپتوس در مناطق جنوبی ایران انتخاب شدند (٤، ٥، ٦، ٧، ١٠، ١١، ١٢، ١٤، ١٥، ١٧، ٢١ و ٢٦). لازم به ذکر است به دلیل اینکه بیشتر سطح استان خوزستان شامل اراضی جلگه‌ای و پست است، می‌توان گفت که تقریباً همه مناطق استان به‌لحاظ توپوگرافی برای کاشت اکالیپتوس مناسب است، لذا شاخص توپوگرافی از میان شاخص‌های موردنظر حذف شد. روش جمع‌آوری داده‌ها و آماده‌سازی نقشه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس در ادامه تشریح شده است.



شکل۲. شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در شناسایی اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان

داده‌های خاکشناسی برای تهیه نقشه‌های زیرشاخص‌های خاکشناسی که به‌طور عمده شامل بافت خاک، عمق خاک، اسیدیته خاک و شوری خاک است، از اطلاعات موجود در مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور استفاده شد. نقشه‌های بافت خاک و عمق خاک به‌طور مستقیم از مؤسسه مذکور تهیه شد که دارای اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر بودند. شوری خاک از محدودیت‌های اکولوژیکی بالقوه محسوب می‌شود (۲۰). برای تهیه نقشه‌های شوری خاک و اسیدیته خاک، از اطلاعات پروفیل‌های خاکشناسی که در محدوده اراضی موردمطالعه قرار داشتند، استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های رقومی مربوط به این زیرشاخص‌ها با استفاده از اطلاعات پروفیل‌های خاکشناسی (۵۰۰ پروفیل خاکشناسی در محدوده موردمطالعه)، از روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس (Inverse Distance Weighting; IDW) با تعریف اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر در نرم‌افزار ArcMap استفاده شد. دلیل استفاده از این روش درون‌یابی این بود که بر اساس مطالعات پیشین (۴۳)، روش وزن‌دهی فاصله معکوس برای مناطقی که تعداد داده‌های معلوم نسبت به سطح موردمطالعه زیاد نباشد، روش مناسبی برای درون‌یابی است. درنهایت همه این نقشه‌ها براساس نیازهای اکالیپتوس طبقه‌بندی شدند.

داده‌های منابع آبی در دسترس زیرشاخص‌های منابع آبی در دسترس شامل آب‌های سطحی (فاصله از رودخانه‌ها، دبی آب رودخانه‌ها و شوری آب رودخانه‌ها) و آب‌های زیرزمینی (عمق آب‌های زیرزمینی و شوری آب‌های زیرزمینی) هستند. ازآنجایی‌که استفاده از روش‌های سنتی برای پایش و ارزیابی منابع آبی بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بردار است (۲٤)، در این پژوهش، ابتدا مسیر رودخانه‌های اصلی موجود در استان، با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث به‌دقت رقومی‌سازی شد. سپس نقشه فاصله از رودخانه‌ها (بعد از در نظر گرفتن بستر رودخانه)، در پنج طبقه ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰، ۱۰۰-۷۵ و بیشتر از ۱۰۰ متر با استفاده از روش فاصله اقلیدسی و با تعریف اندازه پیکسل ۱۰ متر در نرم‌افزار ArcMap تهیه شد.

دلیل انتخاب این فواصل، فاصله اقتصادی مناسب برای کانال‌کشی به‌منظور دسترسی به آب برای کاشت درختان بود (۷). داده‌های دبی آب رودخانه‌ها و شوری آب رودخانه‌ها از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود و داده‌های عمق آب‌های زیرزمینی و شوری آب‌های زیرزمینی از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای استان خوزستان که مربوط به ۱۰ سال اخیر (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷) بودند، از وزارت نیرو و بخش بیابان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور جمع‌آوری شدند. سپس برای تهیه نقشه‌های رقومی مربوط به این زیرشاخص‌ها با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و چاه‌های مشاهده‌ای، از روش درون‌یابی IDW و با تعریف اندازه پیکسل ۱۰ متر در نرم‌افزار ArcMap استفاده شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، دلیل استفاده از این روش درون‌یابی این بود که بر اساس مطالعات پیشین (۴۳)، روش وزن‌دهی فاصله معکوس برای مناطقی که تعداد داده‌های معلوم نسبت به سطح موردمطالعه زیاد نباشد، روش مناسبی برای درون‌یابی است. درنهایت، نقشه‌های زیرشاخص‌های منابع آبی براساس نیازهای اکالیپتوس طبقه‌بندی شدند.

داده‌های اقلیمی زیرشاخص‌های اقلیمی در این پژوهش شامل میانگین دمای سالانه، میانگین حداقل دمای سالانه، میانگین حداکثر دمای سالانه، حداقل مطلق دما، حداکثر مطلق دما، میانگین بارندگی سالانه، میانگین رطوبت نسبی سالانه و میانگین سرعت باد سالانه مربوط به ۱۰ سال اخیر (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷) در استان خوزستان است. برای تهیه نقشه‌های این زیرشاخص‌ها به اداره کل هواشناسی کشور مراجعه شد. ابتدا اطلاعات مربوط به این متغیرها در طی ۱۰ سال گذشته از ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان تهیه شد. سپس از اطلاعات این ایستگاه‌ها میانگین گرفته شد تا یک عدد واحد برای هر یک از متغیرهای اقلیمی مربوط به هر ایستگاه به‌دست آید. سپس برای تهیه نقشه‌های رقومی مربوط به این زیرشاخص‌ها با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک موجود، از روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس و با تعریف اندازه پیکسل ۱۰ متر در نرم‌افزار ArcMap استفاده شد. درنهایت هرکدام از نقشه‌های زیرشاخص‌های اقلیمی که به فرمت رستری تهیه‌شده بودند، براساس نیازهای اقلیمی اکالیپتوس (جدول ۲) طبقه‌بندی شدند.

داده‌های کاربری اراضی در مدیریت منابع طبیعی، آمایش سرزمین و تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی امری ضروری است (۱). با توجه به وسعت استان خوزستان، در این پژوهش، ابتدا کاربری اراضی مصداقی یعنی مناطقی که به‌طور بالقوه پتانسیل بیشتری برای اکالیپتوس‌کاری دارند، شناسایی و انتخاب شدند. این اراضی شامل بیشه‌زارهای حاشیه رودخانه‌ها، تپه‌های شنی (شن‌زارها) جنگل‌کاری شده، تپه‌های شنی خالی، اراضی جهاد نصر، زمین‌های خالی حاشیه کانال‌های نصر و زمین‌های خالی نزدیک به منابع آبی بودند. بقیه مناطق استان، از آنالیزها و بررسی‌های بیشتر حذف شدند. نقشه اراضی جهاد نصر از مؤسسه جهاد نصر تهیه شد. نقشه شنزارهای استان خوزستان از بخش تحقیقات بیابان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. سپس شنزارهای جنگل‌کاری شده با کهور، از طریق رقومی‌سازی در نرم‌افزار گوگل‌ارث، از بقیه شنزارها حذف شدند تا نقشه شنزارهای خالی استان خوزستان به دست آید. برای تهیه نقشه بقیه کاربری اراضی مصداقی، از تصاویر جدید گوگل‌ارث (۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) استفاده شد. محدوده بیشه‌زارهای حاشیه رودخانه‌ها، زمین‌های خالی حاشیه کانال‌های نصر و زمین‌های خالی نزدیک به منابع آبی در سطح استان با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث به‌طور دقیق شناسایی شدند. سپس مرز محدوده‌های این اراضی بسته‌شده و در گوگل‌ارث رقومی شدند. اگرچه تصاویر گوگل‌ارث معمولاً برای ارزیابی صحت نقشه کاربری اراضی استفاده می‌شوند، اما در این پژوهش با توجه به اهمیت این اراضی و لزوم تهیه نقشه آن‌ها با دقت زیاد، صرفاً از تصاویر تفکیک مکانی بالای گوگل‌ارث برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد و ارزیابی دقت نقشه کاربری به‌دست‌آمده با کنترل زمینی انجام شد. درنهایت پلی‌گون‌های رقومی‌شده تمام اراضی مصداقی استان خوزستان که به فرمت KML در گوگل‌ارث تهیه‌شده بودند، به نرم‌افزار ArcMap

انتقال یافتند و نقشه‌های این اراضی با دقت زیاد در این نرم‌افزار تهیه شد. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی مصداقی، ارزیابی صحت آن با نمونه‌برداری میدانی و برداشت ٦٠ نقطه کنترل زمینی (١٠ نقطه کنترل تصادفی در هر کاربری) با استفاده از موقعیت‌یاب GPS Map Garmin 64S در شهریورماه ١٣٩٨ انجام شد. کاربری اراضی ٦٠ نقطه کنترل در نقشه کاربری اراضی مصداقی به‌دست‌آمده از گوگل‌ارث با کاربری همان نقاط در عرصه مقایسه شد و صحت کلی (OA) نقشه کاربری اراضی مصداقی از رابطه ١ به دست آمد.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{j} n_{ii}}{n} \qquad [1]$$

در این رابطه؛ OA صحت کلی، n_{ii} تعداد نقاط کنترل زمینی طبقه‌بندی‌شده صحیح و n تعداد کل نقاط کنترل زمینی است (٣٢).

نقشه اکالیپتوس‌کاری‌های موجود داده‌های اکالیپتوس کاری‌های موجود در استان خوزستان، از طریق عملیات میدانی و نمونه‌برداری زمینی با موقعیت‌یاب مدل GPS Map Garmin 64S در شهریورماه ١٣٩٨ انجام شد. همچنین موقعیت برخی اکالیپتوس‌کاری‌های موجود در استان، از اداره کل منابع طبیعی خوزستان جمع‌آوری شد و محدوده آن‌ها در تصاویر گوگل‌ارث شناسایی‌شده و مرز آن‌ها بسته شد. درنهایت، با استفاده از تمام این اطلاعات، نقشه رقومی اکالیپتوس‌کاری‌های موجود در استان در نرم‌افزار ArcMap تهیه شد. از این نقشه برای اعتبارسنجی نقشه اراضی مستعد اکالیپتوس‌کاری استفاده شد. پس از تهیه همه نقشه‌ها، همسان‌سازی مقیاس همه نقشه‌ها در اندازه پیکسل ١٠×١٠ متر انجام شد و این نقشه‌ها برای آنالیزهای ترکیبی در نرم‌افزار ArcMap سازمان‌دهی شدند.

تعیین وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس با تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) در این پژوهش، وزن شاخص‌های مؤثر در اراضی مستعد اکالیپتوس‌کاری، به‌منظور تلفیق نقشه‌های رقومی مربوط به شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در محیط GIS، از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) محاسبه شد. به‌منظور مقایسه زوجی بین معیارها و زیرمعیارها، از اعداد فازی مثلثی (سه مقدار فازی) استفاده شد (٢٣) که دارای محاسبات ساده‌تر از روش ذوزنقه‌ای (چهار مقدار فازی) است. در این روش یک عدد فازی مثلثی به‌صورت یک مجموعه سه‌تایی (l, m, u) تعریف می‌شود. بنابراین یک قضاوت غیرقطعی برای مقایسه زوجی شاخص‌ها را می‌توان با یک عدد فازی مثلثی به کمک سه عدد حقیقی (l, m, u) بیان نمود که تابع درجه عضویت آن طبق رابطه ٢ بیان می‌شود.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & l \le x \le m \\ (u-x)/(u-m), & m \le x \le u \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad [2]$$

در این رابطه؛ μ_A درجه عضویت مربوط به عضو x از مجموعه مرجع است که عضویت جزئی نسبت به مجموعه A دارد (٣١).

در این تحقیق، به‌منظور اجرای روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای دستیابی به این وزن‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، ابتدا تعداد ٣٠ پرسشنامه بین کارشناسان زراعت چوب در عرصه‌های منابع طبیعی توزیع شد. هر پرسشنامه شامل یک جدول برای بیان مقیاس زبانی اهمیت شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها نسبت به هم (جدول ١) و پنج ماتریس مقایسه زوجی (چهار ماتریس مربوط به مقایسه زیرشاخص‌های هر شاخص و یک ماتریس مربوط به مقایسه شاخص‌های اصلی) بود. مقیاس‌های زبانی برای بیان اهمیت شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها نسبت به هم در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول ١ آورده شده است.

جدول۱. مقیاس‌های زبانی برای بیان درجه اهمیت در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (۳۱)

مقیاس زبانی برای درجه اهمیت		اعداد فازی مثلثی (l, m, u)
Just equal (JE)	ارجحیت بااهمیت دقیقاً برابر	(1، 1، 1)
Equally Important (EI)	ارجحیت بااهمیت تقریباً برابر	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$
Weakly more Important (WMI)	ارجحیت بااهمیت کم	$(1, \frac{3}{2}, 2)$
Strongly more Important (SMI)	ارجحیت بااهمیت قوی‌تر	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$
Very strongly more Important (VSMI)	ارجحیت بااهمیت خیلی قوی‌تر	$(2, \frac{5}{2}, 3)$
Absolutely more Important (AMI)	ارجحیت بااهمیت کامل و مطلق	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$

زمانی که کارشناسان قضاوت‌های خود را بر اساس اعداد فازی مثلثی بیان می‌کنند، ماتریس‌های مقایسات زوجی تکمیل می‌شود. درنهایت میانگین پرسشنامه‌های تکمیل‌شده، به‌دست‌آمده و تجزیه‌وتحلیل شد. تاکنون روش‌های متعددی برای تجزیه‌وتحلیل فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه‌شده‌اند.

یکی از روش‌های معمول در تجزیه‌وتحلیل نتایج پرسشنامه میانگین تحلیل سلسله مراتبی فازی، روش آنالیز توسعه‌ای فازی مثلثی چانگ (۳۱) است که در این تحقیق استفاده شد. مقیاس‌های فازی مورداستفاده در این روش در جدول ۱ نشان داده‌شده‌اند. این روش از سایر روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ساده‌تر و دارای محاسبات قابل‌درک‌تر است (۲۵). مراحل انجام این روش در این تحقیق به شرح زیر بود.

ابتدا جمع هر ردیف از ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه‌شده و سپس جمع هر ردیف با عملگرهای فازی نرمالیزه شد. در روش آنالیز توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S_k که خود یک عدد مثلثی است، از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

[۳]

$$S_k = \sum_{j=1}^{n} M_{kj} \times \left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1} = \left(\frac{\sum_{j=1}^{n} l_{ij}}{\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} u_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^{n} m_{ij}}{\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} m_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^{n} u_{ij}}{\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} l_{kj}}\right)$$

در این رابطه؛ M بیانگر جمع سطرهای ماتریس، K بیانگر شماره سطر و i نشان‌دهنده گزینه‌ها و j نشان‌دهنده شاخص‌ها است. l، m و u نیز اعداد فازی مثلثی می‌باشند. در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه مقدار S_k، درجه بزرگی V (درجه ارجحیت یا درجه امکان‌پذیری) شاخص‌ها نسبت به هم محاسبه شد. به‌طورکلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_2 بر M_1 که با $V(\widetilde{M_2} \geq \widetilde{M_1})$ نشان داده می‌شود، به‌صورت رابطه ٤ تعریف می‌شود که برای اعداد فازی مثلثی معادل با رابطه‌های ٥ و ٦ است.

$$V(\widetilde{M_2} \geq \widetilde{M_1}) = \mathrm{Sup}_{y \geq x}\left[\min\left(\mu_{\widetilde{M}_1}(x), \mu_{\widetilde{M}_2}(y)\right)\right] \qquad [٤]$$

$$\begin{aligned} V(\widetilde{M_2} \geq \widetilde{M_1}) &= 1 && \text{if } m_2 \geq m_1 \\ V(\widetilde{M_2} \geq \widetilde{M_1}) &= 0 && \text{if } l_1 \geq u_2 \\ V(\widetilde{M_2} \geq \widetilde{M_1}) &= \mathrm{hgt}(\widetilde{M_2} \cap \widetilde{M_1}), && \text{otherwise} \end{aligned} \qquad [٥]$$

$$\mathrm{hgt}(\widetilde{M_2} \cap \widetilde{M_1}) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} = \mu_{\widetilde{M}_2}(d) \qquad [٦]$$

که d متناظر با بزرگ‌ترین نقطه تقاطع بین $\widetilde{M_2}$ و $\widetilde{M_1}$ است. همچنین میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه ۷ به دست آمد.

$$V(M \geq M_1, M_2, \ldots\ldots M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and} \ldots\ldots (M \geq M_k)] \qquad [٧]$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی چنانچه فرض شود که؛

$$d'(A_i)= \min V[(S_i \geq S_k)] \quad k = 1,2...,n \quad k \neq i \qquad [۸]$$

آنگاه بردار وزن به‌صورت رابطه ۹ اعمال می‌شود.

$$W'=(d'(A_1), d'(A_2) , \ldots, d'(A_n)) \qquad [۹]$$

وزن‌های به‌دست‌آمده، غیرفازی بودند که جهت نرمالیزه کردن وزن‌های به‌دست‌آمده از رابطه ۱۰ استفاده شد (۳۱).

$$W=(d (A_1), d (A_2) , \ldots, d (A_n)) \qquad [۱۰]$$

$$w_i = \frac{w'_i}{\Sigma w'}$$

بر این اساس، وزن نرمال میانگین هر شاخص و زیرشاخص با استفاده از مقایسات زوجی بر اساس نظر کارشناسان و به کمک روش سلسله مراتبی فازی محاسبه شد. درنهایت به‌منظور ارزیابی صحت وزن‌های به‌دست‌آمده از آزمون پایندگی استفاده شد که در ادامه تشریح می‌شود.

آزمون پایندگی وزن شاخص‌ها (نسبت سازگاری)

هدف از انجام آزمون پایندگی در این تحقیق این بود که صحت وزن‌های نرمال میانگین به‌دست‌آمده برای هر شاخص و زیرشاخص مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس تأیید گردد. برای این منظور ماتریس بردار پایندگی وزن نرمال شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تشکیل شد که بدین‌منظور، وزن نرمال میانگین هر شاخص و زیرشاخص که از آنالیز توسعه‌ای چانگ از مرحله قبل حاصل‌شده بود، در ارزش‌های نسبت داده‌شده در سطرهای هر ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها ضرب شد (رابطه ۱۱).

$$A \times W = \lambda_{max} \times W \qquad [۱۱]$$

در این رابطه؛ W بردار ویژه وزنی مربوط به هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی (مربوط به شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌های هر شاخص)، A ماتریس مقایسه زوجی و λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی است. ارزش لاندا (λ_{max}) به‌طور ساده شامل میانگین ارزش‌های بردار پایندگی است. بر این اساس، مجموع بردارهای پایندگی بر تعداد شاخص‌ها (n) تقسیم شد (رابطه ۱۲). در این تحقیق، تعداد شاخص‌های اصلی چهار شاخص، تعداد زیرشاخص‌های خاکشناسی چهار، تعداد زیرشاخص‌های اقلیمی هشت، تعداد زیرشاخص‌های منابع آبی پنج و تعداد زیرشاخص‌های کاربری اراضی مصداقی نیز شش عدد بود. سپس شاخص سازگاری (Consistency Index; CI) برای هریک از ماتریس‌های مقایسه زوجی شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌های هر شاخص، برای اطمینان از انسجام قضاوت‌ها در مقایسه زوجی، طبق رابطه ۱۳ محاسبه شد.

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_{max\,1}+\lambda_{max\,2}+\cdots+\lambda_{max\,n}}{n} \qquad [۱۲]$$

$$CI = (\lambda_{max}-n)/(n-1) \qquad [۱۳]$$

در این رابطه؛ n بعد ماتریس مقایسه زوجی و λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی است. همچنین نسبت سازگاری (Consistency Ratio; CR) برای هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌های مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس از رابطه ۱٤ به‌دست آمد.

$$CR = CI/RI \qquad [۱٤]$$

در این رابطه؛ RI شاخص تصادفی (Random Index)، یک ماتریس با مقادیر تصادفی است. مقادیر RI برای هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی شاخص‌های اصلی و زیرشاخص‌های مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس در این پژوهش از منبع قدسی‌پور (۱۹) استخراج شد. بر این اساس برای ماتریس چهاربعدی مقایسه شاخص‌های اصلی که شامل مقایسه چهار شاخص بود، شاخص تصادفی برابر با ۰/۹ بود. به همین ترتیب برای ماتریس چهاربعدی مقایسه زوجی زیرشاخص‌های خاکشناسی نیز برابر با ۰/۹ بود.

برای ماتریس پنج‌بعدی مقایسه زوجی زیرشاخص‌های منابع آبی شاخص تصادفی برابر با ۱/۱۲ بود. همچنین برای ماتریس هشت‌بعدی مقایسه زوجی زیرشاخص‌های اقلیمی شاخص تصادفی برابر با ۱/٤۱ و برای ماتریس شش‌بعدی کاربری اراضی مصداقی برابر با ۱/۲٤ بود. درنهایت مطابق رابطه ۱٤، CR کمتر از ۰/۱ برای هر ماتریس مقایسه زوجی نشان‌دهنده سازگاری وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی آن‌ها در این پژوهش بود (۱۹ و ٤۱).

اختصاص وزن به هریک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها

ابتدا نقشه‌های زیرشاخص‌ها و شاخص‌ها در نرم‌افزار ArcMap به فرمت رستری تبدیل‌شده و براساس دستور Reclassify و براساس نیازهای اکالیپتوس مطابق جدول ۲ طبقه‌بندی شدند. بعد از طبقه‌بندی نقشه‌های هریک از زیرشاخص‌ها، برای هر طبقه خاص، براساس تأثیر و اهمیتی که در زراعت چوب اکالیپتوس دارد، یک مقدار استاندارد از ۱ تا ۵ در نظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که که برای مناسب‌ترین طبقه هر زیرشاخص برای زراعت چوب اکالیپتوس، ارزش عددی ۵ و برای نامناسب‌ترین طبقه، ارزش عددی ۱ در نظر گرفته شد (۳۵) (جدول‌های ۳ تا ٦). این ارزش عددی، به‌عنوان وزن درون‌لایه‌ای برای هر لایه (زیرشاخص) درنظر گرفته شد. لازم به ذکر است که برای هر زیرشاخص، استعداد هر طبقه برای کاشت اکالیپتوس براساس مطالعات پیشین مطابق (جدول ۲) تعیین شد.

از طرف دیگر در مرحله قبل، با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس به‌دست‌آمده بود. این وزن‌ها به‌عنوان وزن برون‌لایه‌ای برای ترکیب خطی وزنی لایه‌های رقومی مختلف (زیرشاخص‌ها و شاخص‌های اصلی) برای دست‌یابی به نقشه پتانسیل زراعت چوب اکالیپتوس درنظر گرفته شدند.

جدول۲. نیازها و محدودیت‌های اکولوژیکی اکالیپتوس (تحت آبیاری یا آبیاری تکمیلی) در نواحی جنوبی ایران

شاخص‌های اصلی	شاخص‌های فرعی (واحد)	قابلیت بسیارخوب	قابلیت خوب	قابلیت متوسط و ضعیف	منابع
اقلیمی	میانگین دمای سالانه (C°)	۲۸-۲۶	۲۶-۲٤	کمتر از ۲٤	عصاره (۱۷)
	میانگین حداکثر دمای سالانه (C°)	۳٤-۳۲	۳۲-۳۰	کمتر از ۳۰	عصاره (۱۷)
	میانگین حداقل دمای سالانه (C°)	۲۱-۱۸	۱۸-۱٦	کمتر از ۱٦	عصاره (۱۷)
	حداکثر مطلق دما (C°)	۵۰-٤۸	۵۱-۵۰	بیشتر از ۵۱	عصاره (۱۷)
	حداقل مطلق دما (C°)	بالای صفر	صفر تا ٤-	کمتر از ٤-	ساداتی و همکاران (۹)، سعادت و همکاران (۱۰)، عصاره (۱۷)
	میانگین بارندگی سالانه (mm)	بیشتر از ٤۵۰	۴۵۰-۲۵۰	کمتر از ۲۵۰	صالحه‌شوشتری و همکاران (۱٤)، عصاره (۱۷)
	میانگین سرعت باد (m/s)	کمتر از ۱۱	۱۳-۱۱	بیشتر از ۱۳	عصاره (۱۷)
	میانگین رطوبت نسبی (٪)	بیشتر از ۵۰	۵۰-٤۰	کمتر از ٤۰	عصاره (۱۷)
خاکشناسی	بافت خاک	شنی لومی، شنی رسی	لومی، لومی رسی	رسی لومی، رسی	ساداتی و همکاران (۹)، عصاره و سردابی (۱۸)، عصاره (۱۷)
	عمق خاک (m)	بیشتر از ۱/۵	۱ تا ۱/۵	کمتر از ۱	عصاره و سردابی (۱۸)
	شوری خاک (EC) (ds/m)	کمتر از ۲	٤-۲	بیشتر از ٦	جوانشیر و مصدق (۳)، عباسعلیان و زعفرانی (۱٦)، عصاره (۱۷)، الجوهانی و همکاران (۳۵)، فیکما و بیکر (۳۸)
	اسیدیته (Ph)	۷ تا ۷/۵	۷/۵ تا ۸/۵	کمتر از ٦ و بیشتر از ۸/۵	تلوری (۲)، صالحه‌شوشتری و همکاران (۱٤)، عصاره (۱۷)
	دبی آب و نیاز آبی (m^3/ha)	٦۰۰۰-٤۰۰۰	٤۰۰۰-۲۰۰۰	کمتر از ۲۰۰۰	صالحه‌شوشتری (۱۲)، راد (۷)
منابع آبی	فاصله از رودخانه (بعد از بستر)(m)	۲۵-۰	۵۰-۲۵	بیشتر از ۵۰	عصاره (۱۷)
	عمق آب زیرزمینی (m)	کمتر از ۵	۱۰-۵	بیشتر از ۱۰	تلوری (۲)، صالحه‌شوشتری (۱۲)، عصاره و سردابی (۱۸)
	شوری آب سطحی (EC) (ds/m)	کمتر از ۲	٤-۲	بیشتر از ٦	هاشمی و همکاران (۲۷)، عصاره (۱۷)، فیکما و بیکر (۳۸)
	شوری آب زیرزمینی (EC) (ds/m)	کمتر از ۲	٤-۲	بیشتر از ٦	هاشمی و همکاران (۲۷)، عصاره (۱۷)، فیکما و بیکر (۳۸)
کاربری اراضی	-	شن‌زارهای خالی، حاشیه کانال‌های اراضی جهاد نصر	اراضی جهاد نصر	شنزارهای جنگل‌کاری، بیشه‌زارها، زمین‌های خالی کنار منابع آبی	تلوری (۳)، صالحه شوشتری و همکاران (۱٤)، صالحه شوشتری و روحی‌پور (۱۵)، عصاره (۱۷)

جدول۳. ارزش (وزن درون‌لایه‌ای) زیرشاخص‌های خاکشناسی

عمق خاک	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	بافت خاک	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)
بسیار عمیق	۵	شنی	۵
عمیق	٤	لومی	٤
نیمه‌عمیق	۳	شنی لومی رسی	۳
کم‌عمق	۲	رسی–شنی و رسی–لومی	۲
بسیار کم‌عمق	۱	رسی	۱
اسیدیته خاک	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	شوری خاک (ds/m)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)
۷–۷/۵	۵	۰/۵۲–۲	۵
۷/۵–۸/۵	٤	۲–٤	٤
بیشتر از ۸/۵	۳	٤–٦	۳
		٦–۸	۲
		بیشتر از ۸	۱

جدول۴. ارزش (وزن درون‌لایه‌ای) زیرشاخص‌های منابع آبی

فاصله از رودخانه (m)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	دبی آب رودخانه (m^3/s) (یک درصد با توجه به نیاز آبی)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	شوری آب سطحی (ds/m)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)
۰–۲۵	۵	۸۰۰۰۰۰۰۰–۱۰۲۰۰۰۰۰۰	۵	۰/۵٤–۲	۵
۲۵–۵۰	٤	٦۰۰۰۰۰۰۰–۸۰۰۰۰۰۰۰	٤	۲–٤	٤
۵۰–۷۵	۳	٤۰۰۰۰۰۰۰–٦۰۰۰۰۰۰۰	۳	٤–٦	۳
۷۵–۱۰۰	۲	۲۰۰۰۰۰۰۰–٤۰۰۰۰۰۰۰	۲	٦–۸	۲
بیشتر از ۱۰۰	۱	کمتر از ۲۰۰۰۰۰۰۰	۱	بیشتر از ۸	۱
عمق آب زیرزمینی (m)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	شوری آب زیرزمینی (ds/m)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)		
۲/٦٦–۵	۵	۰/۱٦–۲	۵		
۵–۱۰	٤	۲–٤	٤		
۱۰–۲۰	۳	٤–٦	۳		
۲۰–۳۰	۲	٦–۸	۲		
بیشتر از ۳۰	۱	بیشتر از ۸	۱		

جدول۵. ارزش (وزن درون‌لایه‌ای) زیرشاخص‌های اقلیمی

میانگین دمای سالانه (C°)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	میانگین حداکثر دمای سالانه(C°)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	میانگین حداقل دمای سالانه (C°)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)
۲۳–۲٤	۳	۲۹–۳۰	۳	۱٤–۱٦	۳
۲٤–۲٦	٤	۳۰–۳۲	٤	۱٦–۱۸	٤
۲٦–۲۸	٥	۳۲–۳٤	٥	۱۸–۲۱	٥
حداکثر مطلق دما (C°)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	حداقل مطلق دما (C°)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	میانگین رطوبت نسبی سالانه (٪)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)
٤۸–٥۰	٥	-٤ – -٥	۳	۳٤–٤۰	۳
٥۰–٥۱	٤	-۲ – -٤	٤	٤۰–٥۰	٤
٥۱–٥۲	۳	۰ – -۲	٥	٥۰–٥۲	٥
میانگین بارندگی سالانه (mm)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)	میانگین سرعت باد سالانه (m/s)	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)		
۱٤۰–۲٥۰	۲	۹/٥–۱۱	٥		
۲٥۰–۳٥۰	۳	۱۱–۱۳	٤		
۳٥۰–٤٥۰	٤	۱۳–۱٤/٥	۳		
٤٥۰–٥۸۰	٥				

جدول۶. ارزش (وزن درون‌لایه‌ای) زیرشاخص‌های کاربری اراضی مصداقی

کاربری اراضی مصداقی	ارزش (وزن درون‌لایه‌ای)
شن‌زارهای خالی	٥
حاشیه کانال‌های اراضی جهاد نصر	٥
اراضی جهاد نصر	٤
شن‌زارهای جنگل‌کاری‌شده	۲
بیشه‌زارها	۱
زمین‌های خالی کنار منابع آبی	۱
جنگل	۰
صخره	۰
کشاورزی	۰
پهنه‌های آبی (تالاب، رودخانه، دریاچه)	۰
شهر	۰
زمین‌های بایر دور از آب	۰

ترکیب خطی وزن‌دار نقشه‌های زیرشاخص‌ها و شاخص‌ها براساس وزن و اهمیت آنها در نرم‌افزار ArcMap و تهیه نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس نقشه‌های زیرشاخص‌های هر شاخص اصلی که هر کدام شامل پنج طبقه رستری بودند، براساس وزن و اهمیت به‌دست‌آمده آنها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و براساس دستور Weighted Overlay در محیط GIS ترکیب خطی وزنی شدند. با ترکیب نقشه‌های زیرشاخص‌های هر شاخص اصلی، نقشه آن شاخص تهیه شد. نقشه پتانسیل زراعت چوب اکالیپتوس

نیز از ترکیب خطی وزنی نقشه‌های شاخص‌های اصلی (خاکشناسی، منابع آبی، اقلیمی و کاربری اراضی مصداقی)، تهیه شد. سپس این نقشه بر اساس دستور Natural Break و براساس ارزش‌های پیکسلی در پنج طبقه پتانسیل (بسیار مناسب، مناسب، پتانسیل متوسط، نامناسب، و بسیار نامناسب) طبقه‌بندی شد.

اعتبارسنجی نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس با استفاده از اکالیپتوس‌کاری‌های موجود درنهایت نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس با استفاده از اکالیپتوس‌کاری‌های موفق موجود اعتبارسنجی شده و دقت آن در شناسایی مناطق مستعد کاشت اکالیپتوس ارزیابی شد. بدین‌منظور با توجه به داده‌های واقعیت زمینی (اکالیپتوس‌کاری‌های موجود) و با استفاده از شاخص صحت کلی (Overall Accuracy; OA)، نقشه اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس اعتبارسنجی شد (رابطه ۱).

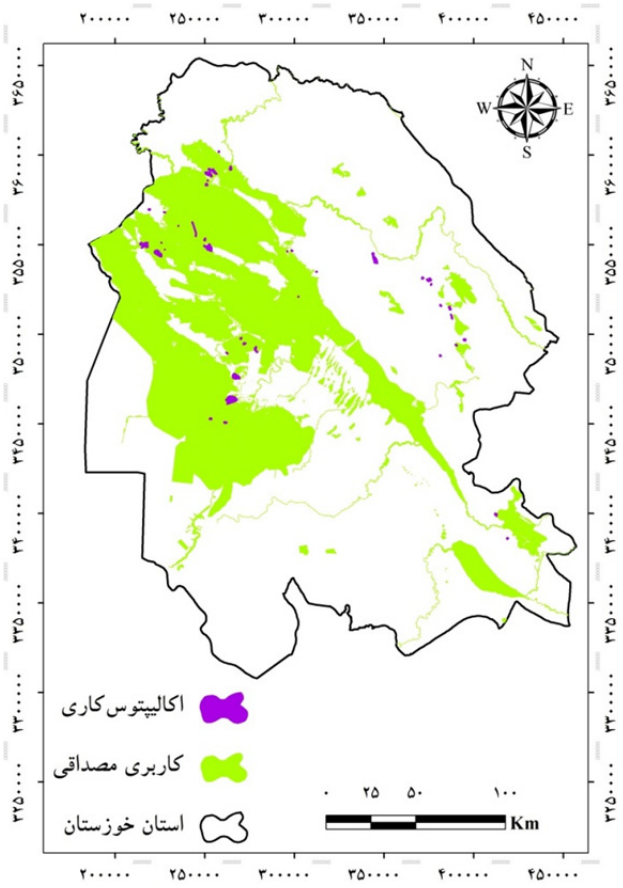
نتایج

ارزیابی صحت نقشه کاربری اراضی مصداقی براساس نقاط کنترل زمینی در جدول ۷ آورده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، نقشه کاربری اراضی مصداقی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث با صحت کلی ۹۱/٦٦ درصد، صحت بسیار مطلوبی براساس داده‌های واقعیت زمینی (٦۰ نقطه کنترل زمینی) داشته است.

جدول۷. ارزیابی صحت نقشه کاربری اراضی مصداقی

کاربری در گوگل‌ارث	کاربری در عرصه	تعداد نقاط کنترل زمینی	تعداد نقاط طبقه‌بندی‌شده صحیح	صحت کلی (٪)
زمین‌های خالی حاشیه کانال‌های نصر	زمین‌های خالی حاشیه کانال‌های نصر	۱۰	۱۰	۱۰۰
اراضی جهاد نصر	اراضی جهاد نصر	۱۰	۹	۹۰
شن‌زارهای جنگلکاری شده	شن‌زارهای جنگلکاری شده	۱۰	۱۰	۱۰۰
شن‌زارهای خالی	شن‌زارهای خالی	۱۰	۸	۸۰
بیشه‌زارها	بیشه‌زارها	۱۰	۹	۹۰
زمین‌های خالی کنار منابع آبی	زمین‌های خالی کنار منابع آبی	۱۰	۹	۹۰
کل	کل	٦۰	۵۵	۹۱/٦٦

نقشه اکالیپتوس‌کاری‌های موجود در استان خوزستان در شکل ۳ نشان داد شده است. این نقشه که از طریق برداشت‌های میدانی در شهریورماه ۱۳۹۸ و همچنین اطلاعات موجود در اداره کل منابع طبیعی خوزستان تهیه شده بود، شامل ۸۰ پلی‌گون بود که در مجموع مساحت ۵۰۰۲/۴۵ هکتار داشتند.



شکل۳. نقشه اکالیپتوس کاری‌های استان خوزستان

نتایج محاسبه نسبت سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی زیرشاخص‌ها و شاخص‌های اصلی براساس روش تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۸ آورده شده است. نتایج جدول مذکور نشان‌دهنده این است که نسبت سازگاری (CR) ماتریس‌های مقایسه زوجی از ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۹۲ است که مقادیر کمتر از ۰/۱ را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده سازگاری وزن شاخص‌ها است. همچنین وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول ۹ آورده شده است. بر اساس این جدول، وزن شاخص منابع آبی (۰/۳٤) بیشتر از سایر شاخص‌ها است.

جدول۸. نسبت سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی زیرشاخص‌ها و شاخص‌های اصلی براساس روش تحلیل سلسله مراتبی

شاخص	λ_{max}	$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$	RI*	CR= CI/RI
شاخص‌های اصلی	٤/۲٥	۰/۰۸۳	۰/۹	۰/۰۹۲
زیرشاخص‌های منابع آبی	٥/۳۱	۰/۰۷۷	۱/۱۲	۰/۰٦۸
زیرشاخص‌های خاکشناسی	٤/۰۸	۰/۰۲٦	۰/۹	۰/۰۲۸
زیرشاخص‌های اقلیمی	۸/۰٥	۰/۰۷	۱/٤۱	۰/۰٥
زیرشاخص‌های کاربری اراضی	٦/۱۱	۰/۰۲۲	۱/۲٤	۰/۰۱۷

* مقادیر RI برای ماتریس‌های n بعدی از منبع قدسی‌پور (۱۹) استخراج‌شده است.

جدول۹. وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

شاخص	وزن	زیرشاخص	وزن	شاخص	وزن	زیرشاخص	وزن
منابع آبی	۰/۳٤	فاصله از رودخانه	۰/۲٤	اقلیمی	۰/۱۰	میانگین حداکثر دمای سالانه	۰/۱
		دبی آب رودخانه	۰/۲۸			حداکثر مطلق دما	۰/۱
		شوری آب سطحی	۰/۱۸			میانگین حداقل دمای سالانه	۰/۱٤
		عمق آب زیرزمینی	۰/۱۷			حداقل مطلق دما	۰/۱۲
		شوری آب زیرزمینی	۰/۱۳			میانگین دمای سالانه	۰/۱٤
کاربری اراضی	۰/۳۲	بیشه‌زارها	۰/۰۸			میانگین رطوبت نسبی سالانه	۰/۱۳
		حاشیه کانال‌های اراضی جهاد نصر	۰/۲۵			میانگین بارندگی سالانه	۰/۱
		اراضی جهاد نصر	۰/۱٦			میانگین سرعت باد سالانه	۰/۱۷
		شنزارهای خالی	۰/۲۷	خاکشناسی	۰/۲٤	بافت خاک	۰/۲۵
		شنزارهای جنگل‌کاری‌شده	۰/۱۰			عمق خاک	۰/۲۸
		زمین‌های خالی کنار منابع آبی	۰/۱٤			شوری خاک	۰/۳۲
						اسیدیته خاک	۰/۱۵

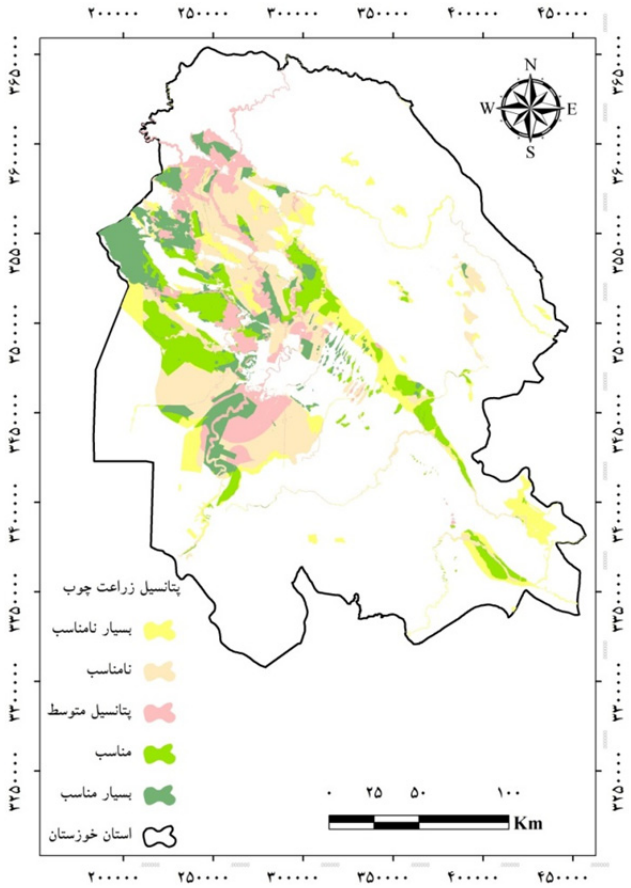
نقشه اراضی مستعد زراعت چوب با اکالیپتوس در استان خوزستان در شکل ٤ نشان داده‌شده است. مساحت طبقات پتانسیل بر اساس نقشه پتانسیل زراعت چوب با اکالیپتوس در جدول ۱۰ و نتایج اعتبارسنجی کمی نقشه پتانسیل زراعت چوب اکالیپتوس براساس شاخص صحت کلی در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول۱۰. مساحت طبقات نقشه اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس

طبقه پتانسیل زراعت چوب	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه
بسیار مناسب	۲۸۹۰٤۲/٤۱	۱٦/۷۹
مناسب	۳۰۹٦۹۱/٦۲	۱۷/۹۹
پتانسیل متوسط	۲۸٤۸۸٦/۱٤	۱٦/۵۵
نامناسب	۵۲۰۲۸٤/۷۸	۳۰/۲۳
بسیار نامناسب	۳۱۷۱۳۷/۷۵	۱۸/٤۲
کل	۱۷۲۱۰٤۲/۷	۱۰۰

جدول۱۱. اعتبارسنجی نقشه اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس براساس شاخص صحت کلی

پیکسل	تعداد
تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی	۵۰۰۲٤۵
تعداد پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده صحیح	٤۱۱۷۰٤
صحت کلی (درصد)	۸۲



شکل۴. نقشه اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس در استان خوزستان

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش پیش‌رو به‌منظور تعیین اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان با استفاده از شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مختلف خاکشناسی، منابع آبی، اقلیمی و کاربری اراضی و با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، وزن شاخص‌های منابع آبی، کاربری اراضی مصداقی، خاکشناسی و اقلیمی به‌ترتیب ۰/۳٤، ۰/۳۲، ۰/۲٤ و ۰/۱۰ بود. بنابراین شاخص‌های منابع آبی دارای بیشترین تأثیر و اهمیت در تعیین اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان بودند. مطالعات دیگری نیز نقش آب را در زراعت چوب اکالیپتوس و رشد ارتفاعی و قطری آن بسیار مؤثر دانسته‌اند (۷، ۱۰ و ۱۲)، به‌طوری‌که نیاز آبی اکالیپتوس برای رشد مطلوب در مناطق جنوبی ایران ٤۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال برآورد شده است (۷). البته براساس نتایج برخی تحقیقات، نیاز آبی گونه‌های مختلف اکالیپتوس متفاوت است، به‌طوری‌که گونه کامالدولنسیس نیاز آبی بیشتری نسبت به میکروتکا دارد (۱۰ و ۱۷).

در مورد زیرشاخص‌های منابع آبی، زیرشاخص دبی آب رودخانه (حجم آب) با وزن ۰/۲۸ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و پس‌ازآن به‌ترتیب زیرشاخص‌های فاصله از رودخانه (۰/۲٤)، شوری آب سطحی (۰/۱۸)، عمق آب زیرزمینی (۰/۱۷) و شوری آب زیرزمینی (۰/۱۳) بیشترین وزن را داشتند. به‌طورقطع، وجود آب سطحی در حجم و فاصله مناسب عامل مهمی در هرگونه زراعت و ازجمله زراعت چوب است. براساس نتایج این تحقیق نیز حجم آب در دسترس و فاصله از آب سطحی (رودخانه) عوامل مهمی در

زراعت چوب اکالیپتوس بوده‌اند. اگرچه گونه‌های مختلف اکالیپتوس مقاومت مختلفی به تنش‌های خشکی دارند و ممکن است زنده‌مانی‌های متفاوتی داشته باشند، اما کاهش آب در دسترس، قطعاً از رشد ارتفاعی و قطری اکالیپتوس خواهد کاست (٤، ٨، ١٠ و ١٧). درشرایط خشکی و اقلیم خشک، برای داشتن رشدی مطلوب، نیاز به آبیاری دوره‌ای اکالیپتوس است (١٧). اگرچه شوری آب عاملی محدودکننده در رشد اکالیپتوس‌ها است، اما در تحقیقی که در فارس انجام شد، گونه‌های کامالدولنسیس و میکروتکا، مقاومت خوبی به تنش شوری نشان دادند (١٠). گونه کامالدولنسیس به‌دلیل مقاومت به شوری قبلاً برای کاشت در خوزستان توصیه‌شده است (٣).

در مورد زیرشاخص‌های خاکشناسی نیز زیرشاخص شوری خاک با وزن ٠/٣٢ بیشترین اهمیت را داشته است، سپس عمق خاک (٠/٢٨)، بافت خاک (٠/٢٥) و اسیدیته خاک (٠/١٥) بیشترین وزن را در تعیین اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس در استان خوزستان نشان داده‌اند. اگرچه گونه‌های اکالیپتوس اراضی نیمه‌شور و قلیایی را تحمل می‌کنند و زنده‌مانی دارند (٢، ١٧، ٣٨ و ٤٤)، اما شوری خاک عاملی محدودکننده برای رشد قطری و ارتفاعی اکالیپتوس‌ها است. به‌طوری‌که گونه‌های معدودی از اکالیپتوس می‌توانند شوری زیاد خاک را تحمل کنند (٣، ١٠، ١٦ و ١٧). بنابراین نتایج این پژوهش در اولویت‌بندی زیرشاخص‌های خاکشناسی منطقی به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که از میان گونه‌های اکالیپتوس، گونه‌های کامالدولنسیس و میکروتکا بیشترین مقاومت را به شوری داشته و برای کاشت در خوزستان توصیه‌شده‌اند (٣، ٩ و ١٠). نتایج این تحقیق نشان داد که عمق خاک (٠/٢٨) و بافت خاک (٠/٢٥) اهمیت متوسطی در کاشت اکالیپتوس دارند. اکالیپتوس‌ها در شرایط خاک‌های عمیق در ساوه، قم، ایلام و لرستان زنده‌مانی و رشد بسیار خوبی داشته‌اند (١٧). این موضوع، تأییدکننده نتایج این پژوهش که نشان‌دهنده اهمیت عمق خاک در زراعت چوب اکالیپتوس با وزن ٠/٢٨ است، است. از طرف دیگر اکالیپتوس‌ها به شرایط سنگینی خاک بسیار حساس هستند و در خاک‌های رسی و سنگین رشد مطلوبی ندارند (٩)، درحالی‌که در خاک‌های شنی رشد مناسبی داشته‌اند (١٥). براساس نتایج این تحقیق، اهمیت اسیدیته خاک کمتر از سایر زیرشاخص‌های خاکشناسی بوده است. نظر به اینکه اسیدیته خاک در اراضی مصداقی استان خوزستان با توجه به جدول ٣، بین ٧ تا ٨/٩ بوده است، و اکالیپتوس‌ها اسیدیته ٧ تا ٨/٥ را تحمل می‌کنند، اسیدیته خاک عامل محدودکننده‌ای برای رشد اکالیپتوس‌ها در استان خوزستان نیست. براساس نتایج این پژوهش نیز وزن این عامل در زراعت چوب اکالیپتوس در اراضی جنوبی ایران کمتر از سایر زیرشاخص‌های خاکشناسی بوده است و لذا این نتایج در اولویت‌بندی زیرشاخص‌های خاکشناسی مؤثر در زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان منطقی به‌نظر می‌رسد.

در مورد زیرشاخص‌های اقلیمی، زیرشاخص میانگین سرعت باد سالانه با وزن ٠/١٧ بیشترین اهمیت را در تعیین اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس در استان خوزستان داشته است و پس‌ازآن میانگین حداقل دمای سالانه (وزن: ٠/١٤)، میانگین دمای سالانه (وزن: ٠/١٤)، میانگین رطوبت نسبی سالانه (وزن: ٠/١٣) و حداقل مطلق دما (وزن: ٠/١٢) بیشترین وزن را در تعیین اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس نشان دادند. لذا براساس نتایج این تحقیق عامل میانگین سرعت باد سالانه مهم‌ترین فاکتور در کاشت اکالیپتوس محسوب می‌شود. اهمیت فاکتور باد با توجه به حساس بودن و شکننده بودن اکالیپتوس‌ها در برابر باد، توسط محققان دیگری نیز اثبات‌شده است، به‌طوری‌که وزش بادهای گرم باعث کاهش زنده‌مانی اکالیپتوس‌ها در فارس شده است (٦). البته گونه میکروتکا به‌دلیل اینکه بیشترین نسبت قطر به ارتفاع را دارد، نسبت به کامالدولنسیس به باد مقاوم‌تر است (١٧). بر اساس نتایج این تحقیق، میانگین حداقل دمای سالانه (وزن، ٠/١٤)، دومین عامل محدودکننده اقلیمی در زراعت چوب اکالیپتوس بوده است. اگرچه گونه‌های اکالیپتوس به‌دلیل خاستگاه گرمسیری به سرما حساس هستند (٩ و ١٠)، اما گونه‌های مختلف آن، مقاومت متفاوتی در برابر حداقل دما (سرما) دارند. به‌طوری‌که بر اساس نتایج تحقیقات پیشین، گونه میکروتکا نسبت به

کامالدولنسیس به سرما مقام‌تر بوده است (۱۰، ۲۸ و ۳۷). زیرشاخص‌های میانگین حداکثر دمای سالانه، حداکثر مطلق دما و میانگین بارندگی سالانه هرکدام با وزن ۰/۱ کمترین تأثیر یا اهمیت را در تعیین اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس در استان خوزستان داشتند.

در مورد زیرشاخص‌های کاربری اراضی، زیرشاخص شنزارهای خالی با وزن ۰/۲۷ بیشترین اهمیت را در تعیین اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس داشت. نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده که در تپه‌های شنی منطقه الباجی اهواز، زنده‌مانی اکالیپتوس‌ها زیاد بوده است (۲)، که نشان‌دهنده مناسب بودن این اراضی برای کاشت اکالیپتوس است. این مهم در تحقیقات دیگری نیز ثابت‌شده است (۱۵ و ۱۷). براساس نتایج این تحقیق، بعد از شن‌زارهای خالی، حاشیه کانال‌های اراضی جهاد نصر با وزن ۰/۲۵ بهترین گزینه برای کاشت اکالیپتوس شناخته شد. باوجودآنکه در پژوهش‌های قبلی، قابلیت این اراضی در کاشت اکالیپتوس‌ها بررسی نشده است، وجود کانال‌های آب و سیستم زهکشی مناسب، می‌تواند مزیت مهمی برای کاشت اکالیپتوس‌ها در این اراضی باشد (۳٤). اجرایی شدن نتایج این تحقیق می‌تواند این موضوع را اثبات نماید. همچنین اراضی جهاد نصر نیز با وزن ۰/۱٦ به‌عنوان یکی از مناطق مهم برای کاشت اکالیپتوس شناسایی شدند. اگرچه در حال حاضر اراضی جهاد نصر در اختیار بخش خصوصی است و ملی محسوب نمی‌شود، اما وسعت قابل‌ملاحظه این اراضی، وجود سیستم زهکشی مناسب برای رفع شوری آب و مسطح بودن این اراضی، قابلیت این اراضی برای کاشت اکالیپتوس را محرز می‌نماید. این مهم در صورت رضایت زارعین برای کاشت جایگزین اکالیپتوس به‌جای محصولات کشاورزی، توجیه اقتصادی و تأمین نهال از طرف سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور امکان‌پذیر خواهد بود.

نتایج کلی این پژوهش نشان داد که زیرشاخص‌های دبی آب رودخانه، شوری خاک، میانگین سرعت باد سالانه و شنزارهای خالی بیشترین اهمیت (وزن) را در تعیین اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس در استان خوزستان داشته‌اند.

نتایج آنالیز نقشه اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان داد که از مجموع مساحت حدود ۱۷۲۱۰٤۲/۷ هکتاری اراضی مصداقی در استان خوزستان، ۲۸۹۰٤۲/٤۱ هکتار (۱٦/۷۹ درصد) از منطقه پتانسیل بسیار مناسب و ۳۰۹٦۹۱/٦۲ هکتار (۱۷/۹۹ درصد) آن پتانسیل مناسب برای کاشت اکالیپتوس دارد. همچنین ۲۸٤۸۸٦/۱٤ هکتار (۱٦/۵۵ درصد) از منطقه پتانسیل متوسط، ۵۲۰۲۸٤/۷۸ هکتار (۳۰/۲۳ درصد) پتانسیل نامناسب و ۳۱۷۱۳۷/۷۵ هکتار (۱۸/٤۲ درصد) پتانسیل بسیار نامناسب برای اکالیپتوس‌کاری دارد. لذا بیشتر از ۳٤ درصد از منطقه پتانسیل مناسب و بسیار مناسب برای زراعت چوب اکالیپتوس دارد.

نتایج اعتبارسنجی نقشه پتانسیل زراعت چوب اکالیپتوس حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی با استفاده از داده‌های واقعیت زمینی (اکالیپتوس‌کاری‌های موجود) نشان داد که صحت کلی نقشه طبقه‌بندی‌شده اراضی مستعد کاشت اکالیپتوس ۸۲ درصد است. این نتیجه نشان‌دهنده اعتبار زیاد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد کاشت اکالیپتوس و صحت زیاد نقشه پتانسیل تهیه‌شده بر اساس آن است. نتایج مطالعات دیگری نیز اعتبار مطلوب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی را در اهداف دیگر ارزیابی محیط زیستی نشان داده است (۳٦، ٤۰ و ٤۲) در این پژوهش روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد زراعت چوب با اکالیپتوس برای اولین بار به‌کار گرفته شد که دقت مطلوبی را نشان داد.

لازم به‌ذکر است که عدم وجود داده‌های کافی از اکالیپتوس‌کاری‌های موجود، از چالش‌های پژوهش پیش‌رو بود. در این پژوهش از ۸۰ پلی‌گون اکالیپتوس‌کاری در استان خوزستان که درمجموع، مساحتی برابر با ۵۰۰۲/٤۵ هکتار داشتند، به‌عنوان داده واقعیت زمینی استفاده شد و اعتبار مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی سنجش شد. بااین‌حال برای اعتبارسنجی دقیق‌تر نیاز به داده‌های بیشتری از

اکالیپتوس‌کاری‌های موجود در استان است.

با توجه به اعتبار مطلوب روش مورداستفاده و نقشه پتانسیل تهیه‌شده در این پژوهش، توسعه زراعت چوب اکالیپتوس در عرصه‌های بسیار مناسب و مناسب در نقشه پتانسیل تهیه‌شده برای استان خوزستان امکان‌پذیر خواهد بود. عرصه‌های مناسب و بسیار مناسب در این نقشه براساس وزن (اهمیت) همه شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر به‌دست‌آمده‌اند، لذا این اطمینان وجود دارد که در این مناطق بهترین قابلیت به‌لحاظ دسترسی به آب (کمیت آب و کیفیت آب)، وجود اراضی مناسب، شرایط اکولوژیکی متعارف (به‌طور عمده فاکتورهای خاکشناسی) و اقلیم متناسب با توجه به نیازهای اکالیپتوس وجود دارد.

در این پژوهش، شنزارها مکان‌های بسیار مناسبی برای کاشت اکالیپتوس تشخیص داده شدند که ملی بودن این اراضی، شرایط اکولوژیکی مناسب (خاکشناسی)، زهکشی مناسب و وسعت قابل‌توجه آن‌ها بر اهمیت آن‌ها در توسعه زراعت چوب می‌افزاید. نظر به توقف بهره‌برداری از جنگل‌های شمال کشور و سازگاری اکولوژیکی اکالیپتوس با مناطق گرمسیری جنوب ایران، شنزارهای خوزستان می‌توانند به‌عنوان یکی از مناطق اکولوژیکی بالقوه برای زراعت چوب اکالیپتوس و تأمین نیاز چوبی کشور مطرح باشند و در اولویت برنامه‌های توسعه زراعت چوب در استان خوزستان قرار گیرند.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت بخش بیابان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام‌شده است. بدین‌وسیله از همراهی خانم‌ها دکتر درگاهیان، رضوی‌زاده و تیموری و آقایان مهندس سیداخلاقی، پاکدامن و جمشیدی تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از راهنمایی‌های ارزنده آقایان دکتر سردابی، فرح پور، کلاگری، بهنام‌فر و صادقی سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. اسکندری، س. ۱۳۹۸. مقایسه الگوریتم‌های مختلف تهیه نقشه پوشش زمین در رویشگاه‌های حساس زاگرس با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (مطالعه موردی: بخشی از استان ایلام). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۱): ۷۲-۸۷.

۲. تلوری، ع. ۱۳۶۰. طرح‌های تحقیقاتی جنگل‌کاری در خوزستان. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، گزارش علمی، ۲۶ صفحه.

۳. جوانشیر، ک. و ا. مصدق. ۱۳۵۱. اکالیپتوس. انتشارات دانشگاه تهران، ٤٣٤ صفحه.

٤. حسین‌زاده، ج. ۱۳۹٤. بررسی سازگاری و عملکرد پرووانس‌های گونه‌های صنعتی اکالیپتوس در نواحی مختلف اکولوژیکی (مطالعات استان ایلام). گزارش طرح تحقیقاتی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۳۱ صفحه.

۵. حمزه‌پور، م. ۱۳۸۹. بررسی سازگاری و عملکرد پرووانس‌های گونه‌های صنعتی اکالیپتوس در استان فارس. گزارش طرح تحقیقاتی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۵۳ صفحه.

٦. حمزه‌پور، م.، ح. سردابی، س.ک. بردبار، ل. جوکار و ع. عباسی. ۱۳۹۱. بررسی استقرار چندگونه و پرووانس صنعتی اکالیپتوس در غرب استان فارس. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۰(۲): ۲۱۷-۲۳۲.

۷. راد، م. ه. ۱۳۹۷. نیاز آبی برخی از گونه‌های مورداستفاده در جنگل‌کاری مناطق خشک و نیمه‌خشک. طبیعت ایران، ۳(٤): ٤٠-٤٧.

۸. راد، م. ه.، م. ع. مشکوه، ک. دشتکیان و م. سلطانی. ۱۳۸۹. نیاز آبی و تابع تولید اکالیپتوس در شرایط اقلیمی خشک. جنگل ایران، ۲(۱): ٦١-٧١.

۹. ساداتی، س. ا.، م. دستمالچی، س. ع. ا. رضایی و س. ر. مصطفی‌نژاد. ۱۳۸۳. بررسی سازگاری و عملکرد سه گونه اکالیپتوس بیست‌ساله در چمستان نور، مازندران. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۲(۱): ٦١-٧٨.

۱۰. سعادتی. ع.، پ. زندی و ع. ابطحی. ۱۳۸۳. بررسی میزان سازگاری شش گونه درختی در دشت کربال و تأثیر آبیاری با

زهاب بر رشد آن‌ها. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۲(۱): ۳۱-۶۰.

۱۱. صادقی، س. م.، ح. سردابی، ح. کازرونی، م. ع. شریفی، ن. فرار و س. رشوند. ۱۳۹۷. سازگاری و عملکرد گونه‌های صنعتی اکالیپتوس در استان بوشهر (دشتستان). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۶(۲): ۲۶۴-۲۷۵.

۱۲. صالحه‌شوشتری، م. ح. ۱۳۷۶. تعیین مؤثرترین دور آبیاری تکمیلی برای استقرار اولیه چهار گونه پروونانس اکالیپتوس در تپه‌های شنی کرخه. انتشارات گزارش طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۵۷ صفحه.

۱۳. صالحه‌شوشتری، م. ح. ۱۳۹۰. اکالیپتوس کامالدولنسیس درختی ارزشمند برای زراعت چوب. بروشور آموزشی، انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ۸ صفحه.

۱۴. صالحه‌شوشتری، م. ح.، س. باوی و ک. بهنام‌فر. ۱۳۸۳. بررسی سازگاری گونه‌های درختی و درختچه‌ای به‌منظور احیاء و توسعه بیشه‌زارهای حاشیه رودخانه دز در استان خوزستان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۲(۳): ۳۷۱-۳۹۰.

۱۵. صالحه‌شوشتری، م .ح. و ح. روحی‌پور. ۱۳۸۴. بررسی سازگاری چندگونه اکالیپتوس در تپه‌های شنی خوزستان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۳(۴): ۴۷۵-۴۹۹.

۱۶. عباسعلیان، ح. و ه. زعفرانی. ۱۳۸۹. اکالیپتوس، گونه درختی مناسب برای اراضی شور و غرقاب. مجله علمی تخصصی زیتون، ۲۰۶: ۶۲-۶۶.

۱۷. عصاره، م. ح. ۱۳۹۵. بررسی فراگیر گونه‌های سازگار اکالیپتوس در ایران با نگرش کاربردی. گزارش طرح تحقیقاتی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۸۸۶ صفحه.

۱۸. عصاره، م. ح. و ح. سردابی. ۱۳۸۶. اکالیپتوس. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۶۷۲ صفحه.

۱۹. قدسی‌پور، س. ح. ۱۳۹۰. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۲۲۴ صفحه.

۲۰. کاظمی، م.، ف. محمدی و ع. نفرزادگان. ۱۳۹۸. ارزیابی شوری خاک با تحلیل تصاویر لندست-۸ و مشاهدات زمینی (مطالعه موردی: بهشت گمشده استان فارس). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۱): ۸۸-۱۰۵.

۲۱. کلاگری، م. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد برخی از گونه‌های اکالیپتوس در دوره‌های بهره‌برداری کوتاه‌مدت. گزارش طرح تحقیقاتی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۵۶ صفحه.

۲۲. محبی گرگری، ر.، ع. بیات کشکولی و و. معظمی. ۱۳۹۷. بررسی شاخص‌های مؤثر بر توسعه پایدار زراعت چوب صنوبر در ایران به روش مقایسات زوجی. صنایع چوب و کاغذ ایران، ۹(۲): ۲۳۵-۲۴۹.

۲۳. محسنی، ن.، ک. بهزادیان، و ع. اردشیر. ۱۳۹۰. مکان‌یابی محل ساخت پل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در محیط GIS. نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱(۲۲): ۲-۱۲.

۲۴. میرعلیزاده فرد، س. ر. و ش. منصوری. ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص‌های سنجش‌ازدور در مطالعات کمی و کیفی آب‌های سطحی با تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مطالعه موردی: جنوب استان خوزستان. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۲): ۶۳-۸۴.

۲۵. میرغفوری، س. ح.، ع. رجبی‌پور میبدی و د. فرید. ۱۳۸۸. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب سهام در بورس اوراق بهادار تهران از دیدگاه سهامداران. توسعه و سرمایه، ۲(۳): ۱۱۱- ۱۳۰.

۲۶. نجفی، ن. ۱۳۸۰. بررسی سازگاری گونه‌های اکالیپتوس مقاوم به خشکی و گرما در تپه‌های شنی و شن‌زارهای خوزستان. گزارش طرح تحقیقاتی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۶۱ صفحه.

۲۷. هاشمی، س. س.، و. پیام نور، ع. علی‌عرب و س. ع. جعفری مفیدآبادی. ۱۳۹۲. ارزیابی مقاومت به شوری سه گونه اکالیپتوس در مراحل اولیه رشد. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۰(۳): ۵۹-۷۵.

۲۸. همتی، ا. ۱۳۷۷. بررسی سازگاری گونه‌های اکالیپتوس و آکاسیا در استان کرمانشاه. پژوهش و سازندگی، ۳۹: ۲۲-۲۷.

29. Ahlawat K, Daneva V, Sirohi C, Dalal V. 2019. Production Potential of Agricultural Crops under Eucalyptus tereticornis Based Agrisilviculture System in Semi-Arid Region of Haryana. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(6): 2725-2731. doi:https://10.20546/ijcmas.2019.806.327.

30. Amazonas NT, Forrester DI, Oliveira RS,

Brancalion PHS. 2018. Combining Eucalyptus wood production with the recovery of native tree diversity in mixed plantings: Implications for water use and availability. Forest Ecology and Management, 418: 34-40. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.006.
31. Chang D-Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3): 649-655. doi:https://10.1016/0377-2217(95)00300-2.
32. Congalton RG, Green K. 2019. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press, 328 pp.
33. De Smith MJ, Goodchild MF, Longley P. 2007. Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Troubador publishing ltd, 394 pp.
34. Dessie AB. 2019. *Eucalyptus*: The Popular Exotic Tree Crop in Ethiopia. Acta Scientific Agriculture, 3(9): 50-56.
35. El-Juhany L, Aref I, Ahmed A. 2008. Response of Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus microtheca and Eucalyptus intertexta seedlings to irrigation with saline water. World Journal of Agricultural Sciences, 4(5): 825-834.
36. Eskandari S. 2017. A new approach for forest fire risk modeling using fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian forests of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 10(8): 190. doi:https://10.1007/s12517-017-2976-2.
37. Eskandari S, Miesel JR. 2017. Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8(2): 933-949. doi:10.1080/19475705.2017.1289249.
38. Feikema PM, Baker TG. 2011. Effect of soil salinity on growth of irrigated plantation Eucalyptus in south-eastern Australia. Agricultural Water Management, 98(7): 1180-1188. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.03.005.
39. Jacobs MR. 1981. Eucalypts for planting. vol Ed. 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Edition 2, 677 pp.
40. Mankessi F, Saya AR, Toto M, Monteuuis O. 2010. Propagation of Eucalyptus urophylla, Eucalyptus grandis clones by rooted cuttings: Influence of genotype and cutting type on rooting ability. Propagation of Ornamental Plants, 10(1): 42-49.
41. Rodcha R, K Tripathi N, Prasad Shrestha R. 2019. Comparison of Cash Crop Suitability Assessment Using Parametric, AHP, and FAHP Methods. Land, 8(5): 79. doi:https://doi.org/10.3390/land8050079.
42. Saaty TL. 1980. The analytic hierarchy process, planning, priority setting, resource allocation. M cGraw-H ill, 120 pp.
43. Salehnasab A, Feghi J, Danekar A, Soosani J, Dastranj A. 2016. Forest park site selection based on a Fuzzy analytic hierarchy process framework (Case study: the Galegol Basin, Lorestan province, Iran). Journal of Forest science, 62(6): 253-263. doi:https://doi.org/10.17221/42/2015-JFS.
44. Sun D, Dickinson GR. 1995. Survival and growth responses of a number of Australian tree species planted on a saline site in tropical north Australia. Journal of Applied Ecology, 32: 817-826. doi:https://10.2307/2404821.
45. Teulieres C, Marque C. 2007. Eucalyptus. Transgenic Crops V. Springer Berlin Heidelberg, 387-406. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-540-49161-3_16.
46. Zerga B, Woldetsadik M. 2016. Contribution of Eucalyptus Tree Farming for Rural Livelihood: In Eza Wereda, Ethiopia. PJ Palgo Journal of Agriculture, 3(1): 111-117.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 11/ Issue 1) Spring 2020
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage : www.girs.iaubushehr.ac.ir

Identification of the prone lands for wood farming by *Eucalyptus* in Khuzestan province using Fuzzy AHP

S. Eskandari [1*], S. A. Mahmoudi Sarab [2], S. Zandifar [3]

1. Assist. Prof. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. Ph.D of Forestry, Gorgan Agricultural and Natural Resources University, Gorgan, Iran
3. Assist. Prof. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received 2 December 2019
Accepted 7 March 2020
Available online 16 April 2020

Keywords:
Wood farming
Eucalyptus
Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)
Geographical information system (GIS)
Khuzestan province

ABSTRACT

Regarding stop industrial forests exploitation in northern Iran, this study was conducted to determine the suitable areas for wood farming by *Eucalyptus* in Khuzestan province using Fuzzy AHP and GIS. The indices used were included four main indices, water resources, land use, climate and soil and 22 related sub-indices (Soil texture, soil depth, soil salinity, soil acidity, distance from the river, water volume, surface water salinity, groundwater depth, groundwater salinity, mean annual temperature, mean minimum annual temperature, mean maximum annual temperature, minimum absolute temperature, maximum absolute temperature, mean annual rainfall, mean annual relative humidity, mean annual wind speed, shrublands around the rivers, sandy hills, Jihad Nasr lands, empty lands around the Jihad Nasr channels, empty lands around the water resources). Maps of these factors were prepared using Google Earth satellite imagery (from summer of 2017 to 2019), ground sampling (September of 2019) and available data. *Eucalyptus* cultivation map in Khuzestan province was also prepared from Khuzestan Natural Resources Administration and ground sampling by GPS in September of 2019. The land use map was prepared by the digitization of land use/cover using Google Earth satellite imagery from summer of 2017 to 2019. Accuracy of land use map was evaluated by 60 ground control points. The weight of effective indices in *Eucalyptus* wood farming potential was calculated using Fuzzy AHP. For this purpose, 30 expert questionnaires (30 expert judgments) were distributed among the scientific and operating experts of wood farming to express the importance and priority of effective factors in wood farming. Then, the mean questionnaire was obtained and it was analysed by Chang triangular fuzzy extent analysis. Based on this method, the normal weights of the indices and sub-indices were calculated using Fuzzy AHP method. Using the linear weighted combination of effective sub-indices, maps of the main indices and then a map of *Eucalyptus* wood farming potential was prepared. Finally, the wood farming potential map was validated by *Eucalyptus* cultivation map and its accuracy was evaluated in identifying the suitable areas for *Eucalyptus* wood farming in Khuzestan province. The results showed that among the main indices, water resources and land use had the most importance in the determination of the prone lands for *Eucalyptus* farming in Khuzestan province based on the Fuzzy AHP. According to the results, 12.83% of the area had very good potential and 10.47% of the area had good potential for *Eucalyptus* farming. The results of the accuracy assessment of wood farming potential map also showed that Fuzzy AHP with overall accuracy 82% had good accuracy in identification of the prone areas for wood farming in Khuzestan province.

* Corresponding author e-mail address: s.eskandari@rifr.ac.ir