

(OPEN ACCESS)

Assessment of wood farming potential with the species Shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) in Khuzestan province using GIS and ANP

Sajad Alimahmoodi Sarab^{*1}, Mahmood Najafi Zilaie², Hossin Arami³,
Mehri Dinarvand⁴, Amin Vosooghian⁵

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran. E-mail: sajadali9@yahoo.com
2. Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran. E-mail: mahmoodnajafi1364@gmail.com
3. Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran. E-mail: arami1854@gmail.com
4. Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran. E-mail: mehri.dinarvand@gmail.com
5. Expert of the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Khuzestan province, Ahvaz, Iran. E-mail: amin173058@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Given the increasing global demand for wood resources and the challenges posed by deforestation, identifying species adapted to arid and semi-arid conditions, such as Shisham (<i>Dalbergia sissoo</i> Roxb.), and determining suitable cultivation areas represents a critical strategy for sustainable natural resource development. Shisham, renowned for its drought resistance, tolerance to soil salinity, and high-quality timber, emerges as an ideal candidate for regions like Khuzestan Province. This study employs an integrated Geographic Information System (GIS) and Analytic Network Process (ANP) approach to evaluate Shisham's cultivation potential in Khuzestan, incorporating ecological, climatic, and resource accessibility criteria. The research aims to develop a precise model to reduce timber import dependency, conserve natural forests, and bolster a climate-resilient economy.
Article history: Received: 04.27.2025 Revised: 07.16.2025 Accepted: 07.19.2025	
Keywords: Analytic network process, Geographic information system, Khuzestan province, Shisham, Potential assessment	
	Materials and Methods: Field data, including locations of natural and cultivated Shisham stands across the province, were collected. Key criteria for assessing cultivation suitability included: climate (sub-criteria: maximum, average, and minimum temperature; relative humidity; wind speed; sunlight hours; evapotranspiration), topography (slope, aspect, elevation), soil properties, resource accessibility (proximity to water sources and roads), and environmental characteristics (soil type, land use, geology). Twenty-eight experts weighted these criteria via questionnaires. Final weights were computed using Super Decisions software and ANP (inconsistency rate <0.1). Raster layers for each criterion were processed in GIS and integrated via fuzzy overlay. The resulting suitability map was classified into five categories (very suitable to very unsuitable) and validated against field data and accuracy indices. Validation utilized natural and planted Shisham patches (6 ha total) as ground-truth samples. The GIS-ANP output was rigorously cross-checked with field observations.

Results: ANP prioritized resource accessibility (weight: 0.62) and climate (0.22). Critical sub-criteria included: distance to water sources (0.23), elevation (0.18), and soil type (0.10). The GIS-ANP model identified 2,832.8 ha in northern/central Khuzestan (Dezful and Izeh counties) as *very suitable* (85% accuracy). These areas exhibit optimal conditions: proximity to rivers, low soil salinity, adequate soil depth, elevation-compatible growth ranges, and >450 mm annual rainfall. Model validation showed 82% accuracy and a Kappa coefficient of 0.71, confirming strong alignment with Shisham's natural distribution. Urban plantations (e.g., Ahvaz) were excluded due to artificial irrigation.

Conclusion: The study highlights 2,832.8 ha in Khuzestan as prime for Shisham cultivation, offering a pathway to reduce timber imports and mitigate natural forest degradation. The GIS-ANP integration (85% accuracy) effectively zones lands based on ecological and logistical criteria. This replicable model aids industrial-scale cultivation planning in Iran's arid/semi-arid regions. Future research should explore Shisham's long-term performance in saline soils.

Cite this article: Alimahmoodi Sarab, Sajad, Najafi Zilaie, Mahmood, Arami, Hossin, Dinarvand, Mehri, Vosooghian, Amin. 2025. Assessment of wood farming potential with the species Shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) in Khuzestan province using GIS and ANP. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 32 (1), 19-39.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwfst.2025.23594.2108

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

مکان‌یابی عرصه‌های مستعد توسعه گونه شیشم (*Dalbergia sissoo* Roxb.) در استان خوزستان با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

سجاد عالی محمودی سراب^{۱*}، محمود نجفی زبیلایی^۲، حسین آرامی^۳، مهری دیناروند^۴، امین وثوقیان^۵

۱. نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: sajadali9@yahoo.com
۲. کارشناس پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: mahmoodnajafi1364@gmail.com
۳. استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: arami1854@gmail.com
۴. دانشیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: mehri.dinarvand@gmail.com
۵. کارشناس جنگل و مرتع، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، خوزستان، ایران. رایانامه: amin173058@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای منابع چوبی و چالش‌های ناشی از جنگل‌زدایی، شناسایی گونه‌های سازگار با شرایط خشک و نیمه‌خشک مانند شیشم (<i>Dalbergia sissoo</i> Roxb.) و تعیین مناطق مستعد کشت آن، به‌عنوان راهکاری کلیدی در توسعه پایدار منابع طبیعی مطرح می‌شود. گونه شیشم با مقاومت به خشکی، شوری خاک و کیفیت بالای چوب، گزینه‌ای ایده‌آل برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان خوزستان محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف پتانسیل‌سنجی اراضی قابل کشت و زراعت چوب شیشم در استان خوزستان، از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (Analytic Network Process) بهره برده است تا با در نظرگیری معیارهای اکولوژیک، اقلیمی و دسترسی به منابع، الگویی دقیق برای کاهش وابستگی به واردات چوب، حفظ جنگل‌های طبیعی و تقویت اقتصاد مقاومتی ارائه دهد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸	مواد و روش‌ها: داده‌های میدانی شامل موقعیت لکه‌های طبیعی و دست‌کاشت شیشم در مناطق مختلف استان جمع‌آوری شد. معیارهای مؤثر در ارزیابی پتانسیل زراعت شامل اقلیم (با زیرمعیارهای حداکثر، متوسط و حداقل دما، حداکثر، متوسط و حداقل دما درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات تابش و تبخیر و تعرق)، توپوگرافی (با زیرمعیارهای شیب دامنه، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا)، دسترسی به منابع (شامل زیرمعیارهای فاصله از منابع آب و

فاصله از جاده) و مشخصه‌های محیطی (شامل زیرمعیارهای خاکشناسی، کاربری و زمین‌شناسی) با مشارکت ۲۸ متخصص و از طریق پرسشنامه‌های کارشناسی وزن‌دهی شدند. وزن‌های نهایی معیارها با استفاده از نرم‌افزار Super Decision و روش ANP (با نرخ ناسازگاری کم‌تر از ۰/۱) محاسبه گردید. لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با هر معیار به فرمت رستر در محیط GIS آماده و با روش همپوشانی فازی ادغام شدند. نقشه نهایی پتانسیل‌سنجی در ۵ طبقه (از بسیار مناسب تا بسیار نامناسب) طبقه‌بندی و با داده‌های میدانی و شاخص صحت کلی اعتبارسنجی شد. برای این منظور، موقعیت لکه‌های طبیعی و دست‌کاشت شیشم در استان خوزستان جمع‌آوری شد که شامل شش هکتار از عرصه‌های پراکنده بود و به‌عنوان نمونه‌های واقعی برای مقایسه با نقشه پیش‌بینی شده استفاده گردید. نقشه نهایی پتانسیل کشت، با ترکیب لایه‌های وزن‌دار شده در GIS و ANP، به‌دقت با داده‌های میدانی مقایسه شد.

یافته‌ها: تحلیل ANP نشان داد معیارهای دسترسی به منابع (وزن ۰/۶۲) و اقلیم (۰/۲۲) بیش‌ترین تأثیر را داشتند. هم‌چنین زیرمعیارهای کلیدی شامل فاصله از منابع آبی (۰/۲۳)، ارتفاع از سطح دریا (۰/۱۸) و خاک (شامل عمق، بافت و هدایت الکتریکی) (۰/۱۰) به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده مناطق مستعد کاشت این گونه شناسایی شدند. نتایج اعمال وزن‌های معیارها و زیرمعیارها بر روی لایه‌های مورد بررسی بر اساس مدل ترکیبی GIS-ANP نیز نشان داد که حدود ۲۸۳۲/۸ هکتار از اراضی شمالی و مرکزی خوزستان (شهرستان‌های دزفول و ایذه) با صحت ۸۵٪ به‌عنوان مناطق بسیار مناسب برای کشت شیشم شناسایی شدند. این مناطق با دارا بودن شرایطی مانند آبراه‌ها و رودخانه‌های منشعب، شوری خاک پایین، عمق خاک مناسب، محدوده ارتفاع از سطح دریای مناسب برای رشد این گونه و هم‌چنین بارش سالانه بالای ۴۵۰ میلی‌متر، از پتانسیل اکولوژیک ایده‌آلی برخوردارند. اعتبارسنجی مدل نیز با صحت کلی ۸۲٪ و ضریب کاپا ۰/۷۱ نشان داد که نقشه‌های پیش‌بینی شده با پراکنش طبیعی شیشم همخوانی خوبی دارند. هم‌چنین، مناطق دست‌کاشت شهری (مانند اهواز) به دلیل شرایط آبیاری مصنوعی، در طبقه‌بندی مستقل قرار نگرفتند.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که با شناسایی ۲۸۳۲/۸ هکتار از اراضی شمالی و مرکزی خوزستان به‌عنوان مناطق بسیار مناسب کشت شیشم، می‌توان وابستگی به واردات چوب را کاهش داد و فشار بر جنگل‌های طبیعی را کاست. هم‌چنین ترکیب روش‌های GIS و ANP با دقت ۸۵٪، ابزاری کارآمد برای پهنه‌بندی اراضی مستعد مبتنی بر معیارهای اکولوژیک و دسترسی به منابع است. این الگو قابلیت تعمیم به سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران را دارد و می‌تواند به برنامه‌ریزی کشت صنعتی گونه‌های سازگار با شرایط سخت کمک کند. پیشنهاد می‌شود اثرات بلندمدت کشت شیشم بر خاک‌های شور در مطالعات آتی بررسی گردد.

استناد: عالی محمودی سراب، سجاد، نجفی زیلایی، محمود، آرامی، حسین، دیناروند، مهری، وثوقیان، امین (۱۴۰۴). مکان‌یابی عرصه‌های مستعد توسعه گونه شیشم (*Dalbergia sissoo Roxb.*) در استان خوزستان با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP). نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۲ (۱)، ۳۹-۱۹.

DOI: 10.22069/jwfst.2025.23594.2108



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

شیشم، با نام علمی *Dalbergia sissoo* Roxb. یکی از گونه‌های مهم خانواده Leguminosae و زیرخانواده Fabaceae به شمار می‌رود. این درخت بومی کشورهای نپال، هند، افغانستان، بوتان (۱ و ۲) و عراق و مالزی (۳ و ۴) می‌باشد. این گونه در ایران، به‌طور محدود در استان‌های خوزستان، کرمان، سیستان و بلوچستان و بوشهر حضور دارد (۱ و ۵). ارتفاع درخت شیشم بین ۱۵ تا ۳۵ متر متغیر است و به‌عنوان یک گونه خزان‌کننده شناخته می‌شود (۶). قطر برابر سینه این درخت معمولاً بین ۲ تا ۳ متر (۷، ۸ و ۹) بوده و در برخی منابع، این مقدار تا ۸۰ سانتی‌متر نیز گزارش شده است (۱۰).

در دهه‌های اخیر، افزایش تقاضای جهانی برای منابع چوبی همراه با تشدید بحران‌های زیست‌محیطی ناشی از جنگل‌زدایی، لزوم توسعه روش‌های پایدار در مدیریت منابع طبیعی را به یک ضرورت تبدیل کرده است (۱۱). براساس گزارش مجبی‌گرگری و همکاران (۲۰۱۸)، واردات چوب به‌دلیل محدودیت‌های تولید داخلی و چالش‌های اقتصادی، فشار قابل‌توجهی بر اقتصاد کشورهایی با پوشش جنگلی کم، مانند ایران، وارد کرده است (۱۲). در این راستا، زراعت چوب به‌عنوان راهکاری استراتژیک برای تأمین نیازهای صنعتی، کاهش وابستگی به واردات و هم‌زمان حفظ اکوسیستم‌های طبیعی مطرح شده است (۱۳). برای موفقیت در زراعت چوب، باید گونه‌های درختی با دقت انتخاب شوند (۱۲). گونه شیشم (*Dalbergia sissoo* Roxb.) به‌دلیل رشد سریع (در مقایسه با کنار)، مقاومت به خشکی، شوری خاک و درنهایت کیفیت بالای چوب (نسبت به کهور)، گزینه‌ای امیدوارکننده برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان خوزستان شناخته می‌شود. شیشم در هند به‌عنوان یک گونه زراعی در سیستم‌های تولید چوب پایدار کشت

می‌شود (۱۴)، اما داده‌های دقیقی از رویش قطری و ارتفاعی شیشم در جنوب ایران، به‌ویژه خوزستان، در دسترس نیست. بااین‌حال، بر اساس مشاهدات محلی، سن بهره‌برداری شیشم معمولاً بین ۱۵ تا ۲۰ سال بعد از کشت تعیین می‌شود که در این زمان، رنگ چوب از سفید به قهوه‌ای تیره تغییر یافته و بهبود قابل‌توجهی در مقاومت و ارزش اقتصادی آن ایجاد می‌شود. هم‌چنین، بر اساس مطالعات مشابه در مناطق گرمسیری مانند هند و پاکستان، در سن ۱۰-۱۵ سال، قطر شیشم به ۲۰-۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع آن به ۱۰-۱۲ متر می‌رسد (۱۴). بااین‌حال، موفقیت این طرح‌ها مستلزم شناسایی دقیق پهنه‌های مستعد کشت با درنظرگرفتن تعامل پیچیده عوامل اکولوژیکی، اقلیمی و اجتماعی-اقتصادی است (۱۵). شناسایی زمین‌هایی که بهترین تناسب را برای توسعه زراعت گونه شیشم دارند، می‌تواند یک گام اساسی برای تأمین چوب استان و کشور باشد.

پتانسیل‌سنجی زراعت چوب به‌عنوان ابزاری کارآمد، امکان شناسایی مناطق مستعد کشت را براساس معیارهای اکولوژیک، اقلیمی و اقتصادی فراهم می‌کند. تاکنون مطالعات متعددی از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای پتانسیل‌یابی زراعت چوب استفاده کرده‌اند (۱۲ و ۱۶)؛ اما تمرکز اغلب پژوهش‌ها بر گونه‌های غیربومی مانند اکالیپتوس و صنوبر بوده است (۱۷)، بنابراین پتانسیل گونه‌های بومی سازگار با شرایط سخت، مانند شیشم، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است و هنوز ارزیابی دقیقی از وسعت مکانی شرایط مساعد برای کشت چوب شیشم انجام نشده است، درحالی‌که شناسایی زمین‌های مناسب برای زراعت چوب شیشم می‌تواند یک گام حیاتی در جهت پاسخ به تقاضای چوب به شمار رود. گونه شیشم به دلیل تولید چوب باکیفیت، کاربرد در

صنایع مبلمان و سازه‌های چوبی (۱۸) و سازگاری با خاک‌های شور تا سطح ۴۰۰۰ میلی گرم بر لیتر (۱۹)، گزینه‌ای ایدئال برای زراعت چوب در استان خوزستان محسوب می‌شود.

سیارس و دومکینیس (۲۰۲۳) در پژوهشی به منظور تعیین مکان‌های مناسب زراعت درختان میوه در نواحی کوهستانی کم‌تر برخوردار به عنوان یکی از اقدامات سیاست جنگلی در چارچوب توسعه پایدار پرداختند. در این مطالعه، ده نوع کشت درختی به عنوان گزینه‌های بهینه معرفی شدند. آن‌ها عوامل تأثیرگذار بر انتخاب سایت مناسب شامل توپوگرافی، اقلیم، خاکشناسی و زمین‌شناسی را بررسی و از GIS برای پردازش داده‌ها استفاده کردند. نقشه نهایی با کمک نقشه محدودیت‌ها و روش بولین به دست آمد. از این طریق، مناطق مطلوب برای کشت گونه‌های مختلف درختی مانند گردو (*Juglans sp.*)، زیتون (*Olea sp.*)، گیلاس (*Prunus sp.*)، سیب (*Malus sp.*) و سایر محصولات شناسایی شده‌اند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تناسب برای زراعت به گردو اختصاص دارد (۲۴/۹٪)، پس از آن گیلاس (۱۹/۶٪) و زیتون (۱۲/۱٪) به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند (۲۰).

اسکندری و همکاران (۲۰۲۲)، به دلیل پوشش جنگلی پایین ایران (کم‌تر از ۱۰٪) و افزایش نیاز به محصولات چوبی، موضوع کمبود چوب و مشکلات ناشی از جنگل‌بری صنعتی را مورد بررسی قرار دادند. پژوهش مذکور به شناسایی مناطق مناسب برای کشت اکالیپتوس در استان خوزستان پرداخته و برای این منظور، ۲۲ عامل محیطی که نمایانگر چهار بُعد اصلی زیست محیطی (خاک، آب، اقلیم و پوشش زمین) هستند، مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های عوامل مذکور با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای، نمونه‌گیری‌های میدانی و سایر منابع مکانی تهیه و به کمک مدل تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) و

تحلیل fuzzy-extent چانگ، وزن‌دهی و طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که عوامل مرتبط با آب (وزن: ۰/۳۴) و پوشش زمین (وزن: ۰/۳۲) بیش‌ترین تأثیر را بر تعیین مکان‌های مناسب برای کشت اکالیپتوس داشته‌اند. با ترکیب نقشه‌های تحت‌عامل وزنی، یک نقشه پتانسیل کشت اکالیپتوس تهیه گردید که صحت آن با استفاده از داده‌های میدانی اکالیپتوس موجود ارزیابی شد؛ به طوری که ارزیابی کلی نشان‌دهنده صحت کلی ۸۲٪ بود. این مطالعه چارچوبی علمی را برای برنامه‌ریزی کشت صنعتی اکالیپتوس در جنوب ایران فراهم می‌کند و می‌تواند به عنوان مبنایی برای رفع نقض در عرضه چوب در کشور مورد استفاده قرار گیرد (۱۶).

اسکندری و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با هدف تعیین اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس در استان خوزستان از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. شاخص‌های اصلی شامل منابع آبی در دسترس، کاربری اراضی، اقلیم و خاکشناسی به همراه ۲۲ زیرشاخص مرتبط مانند بافت و عمق خاک، شوری خاک، فاصله از رودخانه‌ها و ویژگی‌های اقلیمی در این تحلیل مدنظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که منابع آبی و کاربری اراضی بیش‌ترین اهمیت را در تعیین اراضی مستعد زراعت چوب اکالیپتوس دارند. به طوری که ۱۲/۸۳ درصد از منطقه دارای پتانسیل بسیار خوب و ۱۰/۴۷ درصد دارای پتانسیل خوب برای کاشت اکالیپتوس بود. همچنین، ارزیابی صحت نقشه پتانسیل زراعت چوب نشان داد که تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با دقت ۸۲ درصد توانسته مناطق مستعد زراعت چوب را شناسایی کند (۲۱).

الکساندر و همکاران (۲۰۱۷) در برزیل به شناسایی مناطق با پتانسیل استقرار صنایع چوبی پرداخته‌اند. این پژوهش براساس گونه‌های مختلف، از

ممکن است درآمد کم‌تری نسبت به گذشته یا سایر گونه‌های کشت تجاری داشته باشد (۲۳).

استان خوزستان می‌تواند به‌عنوان یکی از مناطق اکولوژیکی بالقوه برای زراعت چوب و تأمین نیاز چوبی کشور مطرح باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که با توجه به نیازهای بوم‌شناختی، آب‌وهوایی، هیدرولوژیکی و خاک‌شناختی این گونه‌ها، این استان پتانسیل بسیار خوبی برای زراعت چوب گونه‌های سریع‌الرشد دارد، آب‌وهوای گرمسیری، تأمین آب کافی، شرایط مناسب خاک به‌ویژه در نیمه شمالی استان و وجود اراضی شنی، این استان را برای کشاورزی گونه‌های سریع‌الرشد ایده‌آل می‌سازد (۱۶ و ۲۱). نتایج مطالعات دیگر نیز این پتانسیل را برای استان تأیید می‌کنند (۱۷ و ۲۴). این وضعیت لزوم به‌کارگیری ابزارهای تحلیلی پیشرفته را برای برنامه‌ریزی مکانی و هم‌چنین ارزیابی پتانسیل بوم‌شناختی این منطقه برای زراعت چوب شیشم، به‌طور ویژه‌ای نمایان می‌سازد. روش‌های سنتی پتانسیل‌سنجی مانند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش‌های مبتنی بر منطق بولی اغلب با محدودیت‌هایی مانند وابستگی به داده‌های قطعی، ناتوانی در مدیریت عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی‌های اکوسیستمی روبه‌رو هستند. در مقابل، روش‌های نوین مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی FAHP با ادغام منطق فازی، عدم قطعیت در قضاوت‌های انسانی و داده‌های کیفی را به‌طور مؤثرتری مدل‌سازی می‌کنند. هم‌چنین، فناوری‌های پیشرفته سنجش‌ازدور RS و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS با قابلیت پردازش داده‌های چندلایه و پهنه‌بندی دقیق، امکان تحلیل‌های مکانی پیچیده‌تر را فراهم می‌سازند. در پژوهش‌های اخیر، ترکیب روش‌های یادگیری ماشین (مانند MaxEnt یا SVM) با داده‌های اکولوژیک و هیدرواقليمی، دقت پیش‌بینی‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش داده است (۲۰). از

جمله هیبریدهای اکالپتوس، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (AHP) و با در نظر گرفتن عوامل آب‌وهوایی کشاورزی انجام شده است. در این پژوهش، پس از تهیه نقشه‌های متغیرهای آب‌وهوایی و وزندهی به آن‌ها، نقشه مناطق دارای پتانسیل و محل مناسب برای استقرار صنایع با کمک رگرسیون خطی تعیین گردید (۲۲).

در مطالعه‌ای که توسط حسین و مارتین (۲۰۱۳) انجام شد، تولید چوب قابل‌فروش در زراعت‌های *Dalbergia sissoo* در مناطق مختلف بنگلادش بررسی گردید. این پژوهش با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از ۷۲ زراعت در پنج منطقه متفاوت بنگلادش، برآوردهایی از حجم چوب براساس سن کشت در هر منطقه انجام داد. در این راستا، تأثیر ویژگی‌های کشت شامل سن، درصد مرگ‌ومیر، چگالی درختان و هم‌چنین ویژگی‌های خاک مانند ترکیب، pH و ماده آلی بر حجم چوب شیشم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که تفاوت‌های قابل‌توجهی در برآورد حجم چوب شیشم در مناطق مختلف وجود دارد، به‌گونه‌ای که این ارقام در مناطق خولنا و چوادانگا به‌ترتیب ۵۲ و ۸۰ مترمکعب در هکتار برآورد شده‌اند. برآوردهای به‌دست‌آمده از حجم چوب در این تحقیق به‌مراتب پایین‌تر از تقریباً تمامی برآوردهای موجود از حجم چوب شیشم بوده که این امر ناشی از نرخ بالای مرگ‌ومیر درختان در کشت‌های مورد بررسی، با میانگین $11/3 \pm 46/4\%$ از ساقه‌ها، می‌باشد. علاوه بر این، حجم چوب شیشم ارتباطی منفی با محتوای خاک رس نشان داد، به‌طوری‌که پایین‌ترین برآوردهای حجم چوب در مناطق با بالاترین متوسط محتوای خاک رس مشاهده گردید. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه بیانگر آن است که زراعت شیشم در بنگلادش

چندین لایه اطلاعاتی (خاک، آب، اقلیم، پوشش زمین) از طریق فناوری GIS و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به تحلیل تناسب اراضی بهینه کشت شیشم در خوزستان می‌پردازد. نوآوری اصلی این پژوهش در استفاده از روش ANP در چارچوب GIS برای شناسایی تأثیر متقابل عوامل اکولوژیک و هیدرولوژیک و ارائه رویکردی جامع و انعطاف‌پذیر برای مدیریت پایدار منابع طبیعی در منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان، ایران) نهفته است. دستاوردهای این مطالعه می‌تواند به‌عنوان راهنمایی علمی برای سیاست‌گذاران در جهت تحقق اهداف اقتصادی و توسعه پایدار منطقه ایفای نقش کند.

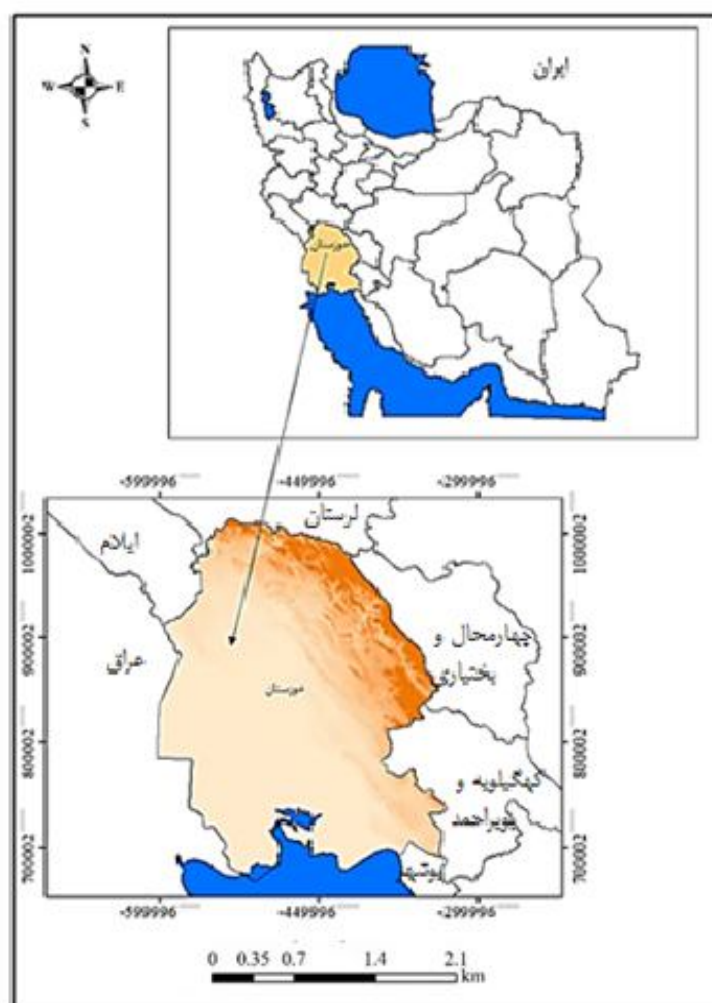
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان خوزستان با مساحتی نزدیک به ۴/۶ میلیون هکتار در موقعیت جغرافیایی طول‌های شرقی ۴۱° ۴۷° تا ۳۹° ۵۰° و عرض‌های شمالی ۵۸° ۲۹° تا ۴° ۳۳° در جنوب غربی کشور واقع شده است (شکل ۱). از شمال، خوزستان هم‌مرز با استان‌های ایلام، لرستان، چهارمحال و بختیاری، از شرق با کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با بوشهر و خلیج فارس و از غرب با کشور عراق می‌باشد. از نظر آب‌وهوا، این استان جزء دشت‌های ساحلی خلیج فارس و نواحی گرم و خشک جنوب است که تحت تأثیر ناحیه ریشی خلیجی قرار دارد. میانگین بارش سالانه در این منطقه ۲۵۵ میلی‌متر و تبخیر سالانه آن ۲۱۰۰ میلی‌متر برآورد شده است (۱۶ و ۲۱).

این‌رو این پژوهش با ترکیب دو فناوری GIS و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، گامی نوین در تعیین مناطق مستعد جهت توسعه گونه شیشم در خوزستان برمی‌دارد. فناوری GIS با تحلیل لایه‌های مکانی کلیدی شامل بارش، دمای بهینه، شیب، دسترسی به منابع آب‌و خاک، امکان شناسایی اولیه مناطق مستعد را فراهم می‌کند (۲۰ و ۲۵). از سوی دیگر، ANP با در نظر گرفتن وابستگی متقابل معیارها (مانند تأثیر شوری خاک بر نیاز آبی) و وزن‌دهی علمی به عوامل اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی، دقت مدل‌سازی را افزایش می‌دهد (۲۶). این تلفیق نه تنها محدودیت‌های روش‌های سنتی مکان‌یابی را برطرف می‌کند، بلکه چارچوبی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی ارائه می‌نماید (۱۲ و ۱۶).

با توجه به چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی، کاهش پوشش جنگلی و افزایش تقاضا برای محصولات چوبی و کشاورزی، شناسایی مناطق مستعد برای کشت گونه‌های سریع‌الرشد به‌منظور تأمین پایدار منابع، کاهش فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی و بهبود معیشت جوامع محلی ضرورتی انکارناپذیر است. این موضوع در مناطق کم‌تر برخوردار که با محدودیت‌های اکولوژیک و اقتصادی مواجه‌اند، از اهمیت دوچندانی برخوردار است (۲۰).

هدف اصلی این مطالعه، توسعه الگویی جامع برای شناسایی پهنه‌های بهینه کشت شیشم با رویکرد کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی، افزایش بهره‌وری اقتصادی و ایجاد اشتغال پایدار است. این پژوهش برای اولین بار با بهره‌گیری از داده‌های میدانی و ادغام



شکل ۱- مختصات جغرافیایی استان خوزستان به عنوان منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Khuzestan Province's geographical position as the study area.

روش پژوهش: این پژوهش با هدف شناسایی مناطق مستعد زراعت گونه شیشم *Dalbergia sissoo* Roxb. در استان خوزستان، از ترکیب فرایند تحلیل شبکه (ANP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره می‌برد. در این پژوهش، ANP به منظور وزن‌دهی شاخص‌های مؤثر در تصمیم‌گیری و GIS برای تحلیل مکانی و ادغام لایه‌های اطلاعاتی به کار گرفته شده است (شکل ۲).

سلسله جبال زاگرس شمال و شرق خوزستان را احاطه کرده و به تدریج به سمت جنوب غربی از ارتفاع آن کاسته می‌شود و در نواحی جنوبی‌تر به شکل تپه‌ماهورها نمایان می‌گردد. به این ترتیب، خوزستان به دو ناحیه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. یکی از فعالیت‌های کلیدی استان در حوزه منابع طبیعی، فعالیت‌های جنگل‌کاری است، خوزستان دارای ۸۹۰۰۰۰ هکتار جنگل طبیعی در مناطق کوهپایه‌ای و هم‌چنین ۳۵۵۸۰ هکتار جنگل‌های دست‌کاشت می‌باشد (۲۱).

۱. جمع‌آوری داده‌های میدانی: ابتدا لکه‌های جنگلی شیشم در استان خوزستان شناسایی شدند. در هر شرایط اکولوژیکی (اعم از رویشگاه طبیعی یا کاشته‌شده)، مختصات مکانی آن‌ها ثبت شد. غالب این لکه‌ها در شهرستان‌های دزفول، ایذه و به‌صورت تک‌درخت در شهرستان‌های گتوند و اهواز مشاهده گردید.

۲. طراحی ساختار شبکه تصمیم‌گیری با ANP: معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی شامل شرایط اقلیمی (با زیرمعیارهای حداکثر، متوسط و حداقل دما، حداکثر، متوسط و حداقل دما درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات تابش و تبخیر و تعرق)، توپوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع)، مشخصه‌های محیطی (نوع خاک، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری)، فاصله از منابع (فاصله از جاده دسترسی و فاصله از منابع آب) شناسایی شدند. با توجه به تعاملات پیچیده بین معیارها (مانند تأثیر توأمان اقلیم و خاک بر رشد گونه)، ساختار تصمیم‌گیری به‌صورت شبکه‌ای در نرم‌افزار Super Decision طراحی گردید (شکل ۳).

ANP به‌عنوان یک روش مناسب در تصمیم‌گیری چندمعیاره، قابلیت‌های AHP را حفظ کرده و درعین‌حال بر محدودیت‌های آن، از جمله عدم توجه به وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، غلبه می‌کند (۲۶). روش ANP توسعه‌ای از روش AHP است که ساختار شبکه‌ای را جایگزین ساختار سلسله‌مراتبی می‌کند. این ویژگی به بررسی وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیارها و زیرمعیارها به‌طور نظام‌مند کمک می‌کند و نتایج واقعی‌تری ارائه می‌دهد. هر دو روش از مقایسات زوجی با مقیاس ارجحیت ۱ تا ۹ استفاده می‌کنند، اما در ANP هر عنصر می‌تواند با دیگر عناصر ارتباط دو طرفه داشته باشد (۲۷).

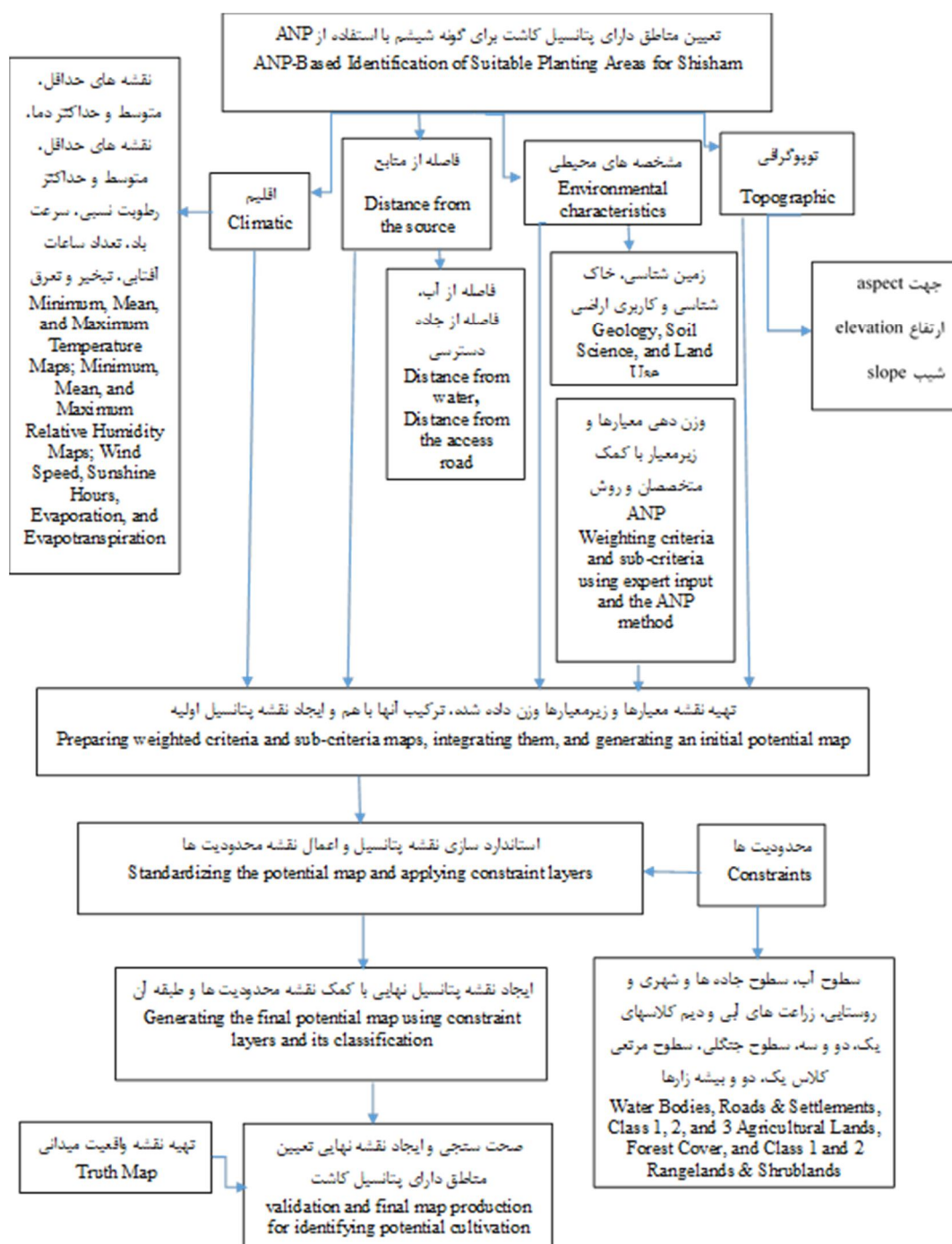
۳. تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تعیین مناطق دارای پتانسیل زراعت چوب شیشم: داده‌های

وزن‌دهی از طریق پرسشنامه‌های کارشناسی با مشارکت ۲۸ متخصص (اجرایی، تحقیقاتی و دانشگاهی) جمع‌آوری و میانگین گرفته شد. سپس با واردسازی داده‌ها به نرم‌افزار Super Decision و اجرای الگوریتم ANP، وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها با نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ محاسبه گردید. سپس در این نرم‌افزار اهمیت نسبی شاخص‌ها با استفاده از روش فازی (بین صفر تا یک) نرمال‌سازی شدند.

۴. آماده‌سازی و تلفیق لایه‌های GIS: لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با هر معیار (نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع، عمق خاک، بافت خاک و هدایت الکتریکی خاک، فاصله از منابع آب، فاصله از جاده دسترسی، زمین‌شناسی، خاکشناسی، کاربری اراضی و نقشه‌های حداقل، متوسط و حداکثر دما، نقشه‌های حداقل، متوسط و حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد، تعداد ساعات آفتابی، تبخیر و تعرق) در محیط GIS تولید و صحت‌سنجی شدند. سپس این نقشه‌ها بر اساس دستور Natural Break و براساس ارزش‌های پیکسلی و وزن تعیین‌شده در ANP به طبقات بسیار مناسب، مناسب و نامناسب تقسیم شد (۲۱). با استفاده از روش همپوشانی فازی، لایه‌های وزن‌دار شده ادغام و نقشه نهایی پتانسیل‌سنجی تولید گردید. نقشه پتانسیل اولیه با داده‌های میدانی (مناطق نمونه دارای کشت موفق شیشم) مقایسه شدند. از شاخص صحت کلی برای سنجش دقت مدل استفاده شد (۲۸). درنهایت نقشه نهایی به‌دست‌آمده از حاصل‌ضرب هر معیار در وزن خود، ابتدا بین ۰ تا ۱ تبدیل و در ۵ طبقه ۱-۰/۸ (بسیار مناسب)، ۶/۸-۰/۰ (مناسب)، ۴/۶-۰/۰ (متوسط)، ۲/۴-۰/۰ (نامناسب) و ۰-۰/۲ (بسیار نامناسب) طبقه‌بندی شد.

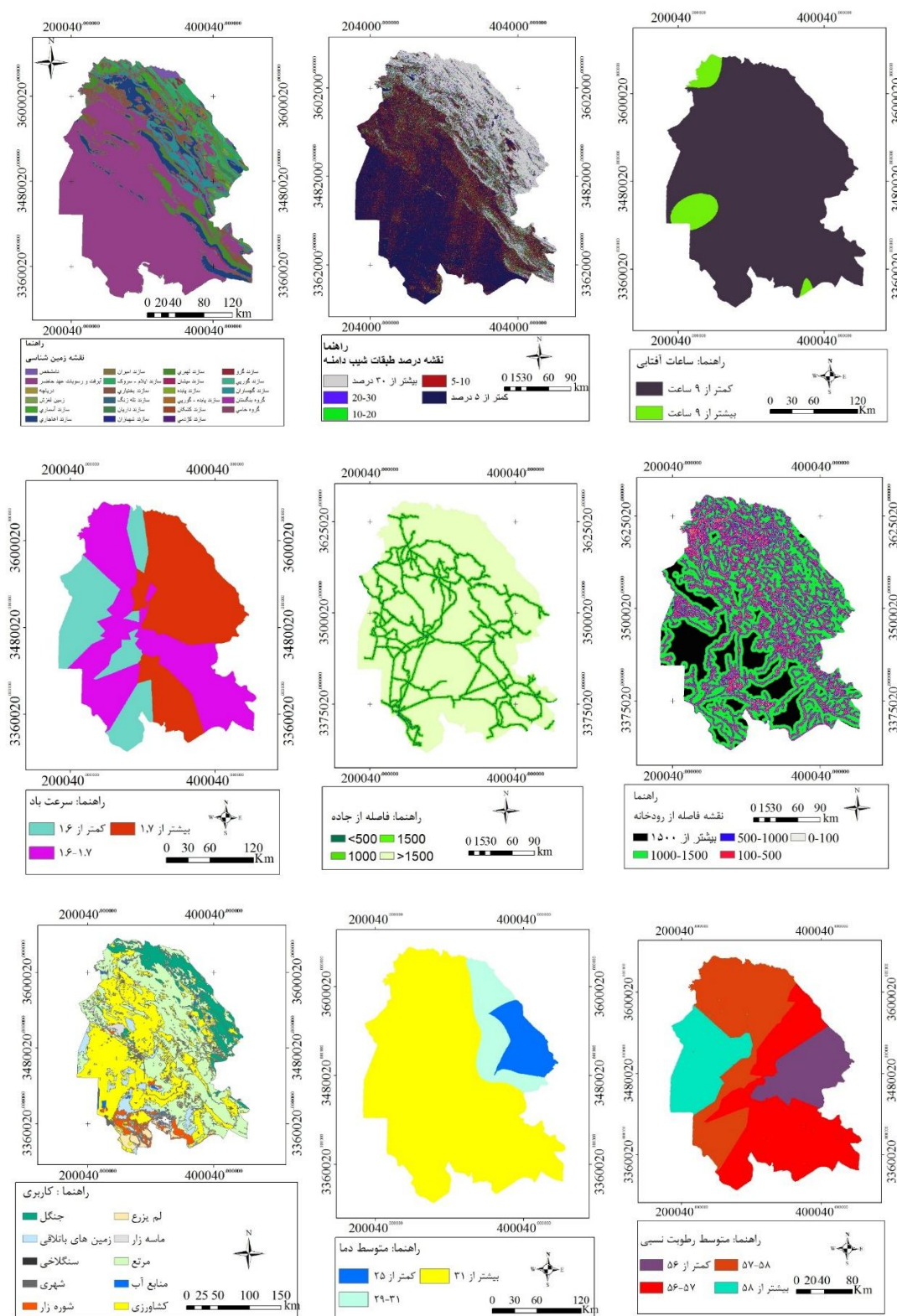
داده‌های مورد استفاده برای انجام این پژوهش شامل معیارهای اصلی اقلیمی، توپوگرافی، فاصله از منابع، مشخصه‌های محیطی و زیرمعیارهای آنها (شکل ۲) و همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق پرسشنامه و داده‌های توده‌های طبیعی و دست کاشت شیشم در استان بودند. داده‌های اقلیمی از ۲۵ ایستگاه سینوپتیک و هواشناسی محلی در استان خوزستان جمع‌آوری شده است. این داده‌ها شامل متغیرهای متنوعی از جمله متوسط حداقل دمای ماهانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، متوسط میانگین بارندگی سالانه، متوسط میزان تابش سالانه (ساعات آفتابی)، نقشه سرعت باد، متوسط درصد رطوبت نسبی و متوسط میزان تبخیر و تعرق می‌باشد. برای تهیه نقشه‌های مرتبط با این زیرمعیارها، به اداره کل هواشناسی استان خوزستان مراجعه و اطلاعات مربوط به ده سال اخیر (از ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) استخراج گردید. در مرحله بعد، با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ و تعیین اندازه پیکسل ۵۰ متر در نرم‌افزار ArcMap، نقشه‌های دیجیتال مربوط به این زیرمعیارها تولید شد. در نهایت، هر یک از نقشه‌های زیرمعیارهای اقلیمی به فرمت رستری تهیه گردید. به‌منظور تهیه داده‌های توپوگرافی از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) استان خوزستان (با منبع ASTER GDEM با اندازه پیکسل ۳۰ متر) و تبدیل آن به اندازه پیکسل سائز ۵۰ متر (جهت همخوانی با سایر نقشه‌ها) استفاده شد. با استفاده از این لایه نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا تهیه شد.

برای دستیابی به اهداف پژوهش، نقشه‌های پایه شامل نقشه خاک، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، جاده‌های دسترسی، شبکه رودخانه‌ها و آب‌های جاری و نقشه استعدادیابی اراضی از اداره کل منابع طبیعی استان خوزستان (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) استخراج گردید، این لایه‌های اطلاعاتی به‌عنوان داده‌های ورودی پایه، پس از اعتبارسنجی اولیه، در چارچوب روش‌شناسی پژوهش به‌کار گرفته شدند (۱۶ و ۲۱). منابع آبی موجود با تمرکز بر زیرشاخص آب‌های سطحی (شامل فاصله از رودخانه‌ها و آب‌های جاری) مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور کاهش هزینه و زمان ناشی از روش‌های سنتی، نقشه‌های مورد نیاز از مراجع مرتبط مانند اداره کل منابع طبیعی، سازمان آب و برق خوزستان و غیره اخذ و صحت‌سنجی شدند. نقشه فاصله از رودخانه‌ها و فاصله از مسیرهای دسترسی نیز با استفاده از روش فاصله اقلیدسی و با تقسیم‌بندی به پنج طبقه (کم‌تر و بیش‌تر از ۱۰۰ متر) در نرم‌افزار ArcMap و با تعریف اندازه پیکسل ۵۰ متر تهیه گردید. همان‌طور که اشاره شد نقشه‌های لازم از اداره کل منابع طبیعی خوزستان و دیگر نهادهای مرتبط تهیه و با استفاده از تصاویر گوگل ارث، ویژگی‌های اراضی مورد بررسی قرار گرفت. این تصاویر به‌دلیل تفکیک مکانی بالا، امکان ایجاد نقشه‌ای دقیق از کاربری اراضی را فراهم کردند و ارزیابی دقت آن‌ها با کنترل زمینی انجام شد. در نهایت، تمام داده‌ها به فرمت KML در گوگل ارث منتقل و نقشه‌های دقیق این اراضی با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه گردید. برای تهیه نقشه‌های زیرمعیار خاک‌شناسی، نیز از اطلاعات موجود در اداره کل منابع طبیعی خوزستان استفاده شد.



شکل ۲- تعیین سطوح دارای پتانسیل کاشت برای گونه شیشم با استفاده از روش ANP.

Figure 2. Determining planting potential levels for the *Dalbergia sissoo* using the ANP method.



شکل ۳- نقشه زیرمعیارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر در استان خوزستان.

Figure 3. Map of the Subcriteria Used in this Research in Khuzestan Province.

پس از تلفیق نقشه‌های وزن داده شده با هم نقشه مناطق دارای پتانسیل کاشت تهیه شد. سپس با ضرب نقشه حاصل با نقشه محدودیت‌ها (سطوحی که امکان کاشت و قطع و بهره‌برداری در آن‌ها به هر دلیلی مقدور نیست، مانند سطوح آب، مناطق مسکونی، عرصه‌های جنگلی، اراضی کشاورزی در کلاس‌های یک، دو و سه، مراتع درجه یک و دو)، نقشه نهایی مناطق دارای پتانسیل کاشت تهیه شد.

۵. اعتبارسنجی نقشه پتانسیل کاشت: به‌منظور اعتبارسنجی نقشه نهایی، از داده‌های میدانی (توده‌های طبیعی و دست کاشت) در سطح ۶ هکتار و به‌صورت پراکنده در کل استان استفاده شد و ضرایب صحت کلی مورد بررسی قرار گرفت (۲۸). روش اعتبارسنجی مبتنی بر مقایسه نقشه پیش‌بینی‌شده با داده‌های میدانی و محاسبه شاخص صحت کلی و

ضریب کاپا به‌عنوان معیارهای سنجش دقت انتخاب شد. در این راستا، معیار اعتبارسنجی، تطابق مناطق شناسایی‌شده با پراکنش واقعی گونه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که معیار فاصله از منابع و معیارهای اقلیمی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۶۲ و ۰/۲۲ مهم‌ترین معیار بودند. هم‌چنین نتایج تحلیل ANP نشان‌دهنده اهمیت بالای متغیرهایی مانند فاصله از منابع آبی، ارتفاع از سطح دریا و خاک در تعیین مناطق دارای پتانسیل برای کاشت گونه شیشم هستند. به‌طور مشخص، این متغیرها به ترتیب با ضریب اهمیت ۰/۲۳ و ۰/۱۸ و ۰/۱۰ برجسته‌ترین عوامل محسوب می‌شوند (جدول ۱).

جدول ۱- ضرایب متغیرهای مؤثر در شناسایی مناطق دارای پتانسیل جهت کاشت گونه شیشم.

Table 1. Coefficients of variables affecting the identification of areas with potential for planting the *Dalbergia sissoo*.

نوع گونه Species Type							زیرمعیار Sub-Criteria
شیشم Shisham	حداقل دما Minimum Temperature	حداقل رطوبت نسبی Minimum Relative Humidity	حداکثر دما Maximum Temperature	حداکثر رطوبت نسبی Maximum Relative Humidity	تبخیر و تعرق Evapotranspiration	متوسط درجه حرارت Average Temperature	متوسط رطوبت نسبی Average Relative Humidity
	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.06
	ضریب اهمیت Importance Coefficient						
	0.1 <	0.1 <	0.1 <	0.1 <	0.1 <	0.1 <	0.1 <
	نرخ ناسازگاری Incompatibility Rate						

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

نوع گونه Species Type	زیرمعیار Sub-Criteria
شیشم Shisham	شیب Slope
	ارتفاع Elevation
	جهت Direction
	آب در دسترس Available water
	خاک Soil
	کاربری اراضی Land use
	زمین‌شناسی Geology
	سرعت باد Wind speed
	تعداد ساعات آفتابی Number of sunny hours
	بارندگی Precipitation
ضریب اهمیت Importance Coefficient	0.02
نرخ ناسازگاری Incompatibility Rate	0.1 <

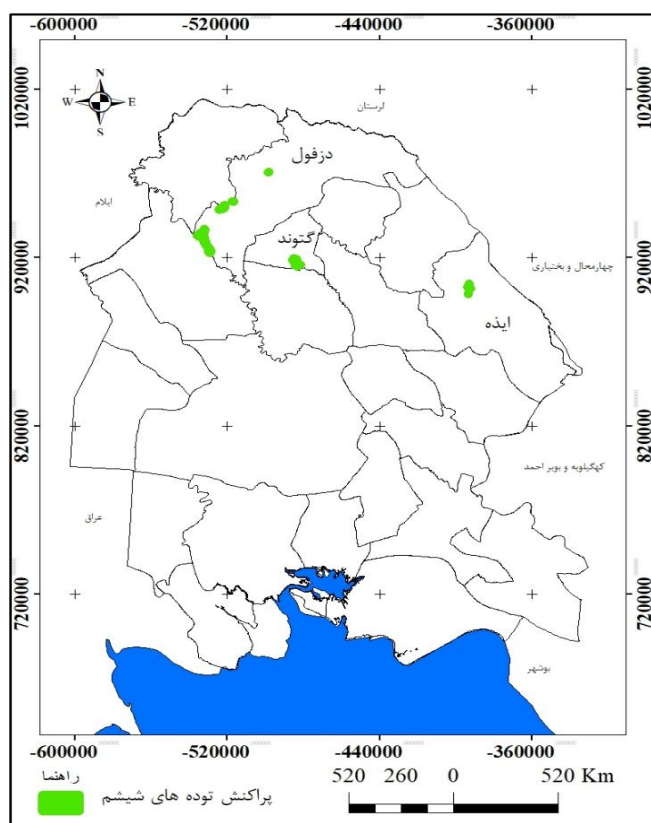
پتانسیل به‌دست‌آمده (پس از اعمال نقشه محدودیت‌ها) در مقابل نقشه واقعیت میدانی از محل پراکنش مکانی توده‌های گونه شیشم (شکل ۴) نشان‌دهنده دقت ۸۵ درصدی مدل بود (شکل ۵).

پس از تلفیق نقشه‌های معیارها و زیرمعیارهای وزن داده شده، نتایج نشان داد که در سطح استان خوزستان، مساحت تقریبی ۲۸۳۲/۸ هکتار به‌عنوان زمین‌های بسیار مناسب برای کشت گونه شیشم شناسایی گردید (جدول ۲). هم‌چنین نتایج صحت‌سنجی نقشه

جدول ۲- درصد مساحت طبقات مطلوبیت زیستگاه جهت کاشت گونه شیشم.

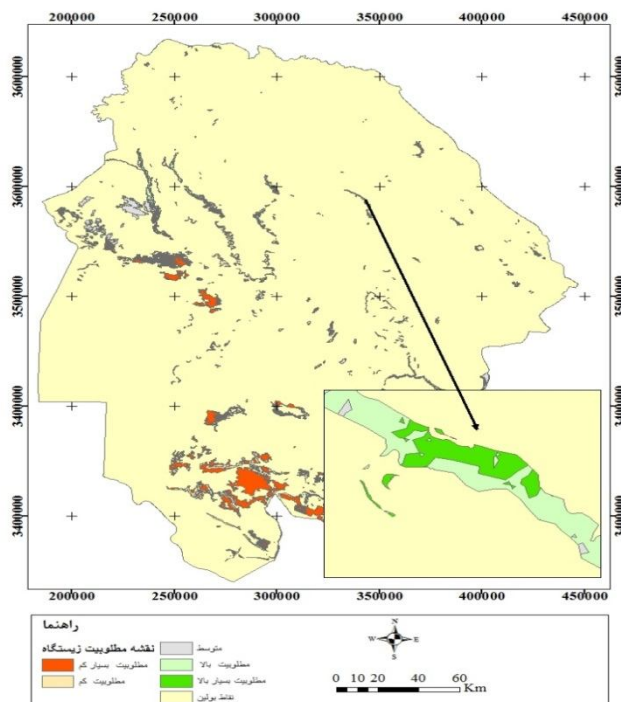
Table 2. Percentage of Habitat Suitability Classes for Planting the *Dalbergia sissoo*.

ردیف Row	طبقه مطلوبیت Desired class	مساحت (هکتار) Area (Hectares)	مساحت (درصد) Area (Percentage)
5	بسیار بالا Very High	2832.8	1.02
4	بالا High	32512.6	11.69
3	متوسط Medium	42783.6	15.38
2	کم Low	74210.7	26.67
1	بسیار کم Very Low	125879.7	45.24



شکل ۴- نقشه مناطق حضور گونه شیشم استان خوزستان.

Figure 4. Map of *Dalbergia sissoo* Distribution in Khuzestan Province.



شکل ۵- نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه شیشم استان خوزستان حاصل از روش ANP.

Figure 5. Habitat Suitability Map for *Dalbergia sissoo* in Khuzestan Province Based on ANP Method.

با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای منابع چوبی و چالش‌های ناشی از جنگل‌زدایی، شناسایی گونه‌های سازگار با شرایط خشک و نیمه‌خشک مانند شیشم (*Dalbergia sissoo*) و تعیین مناطق مستعد کشت آن، به‌عنوان راهکاری کلیدی در توسعه پایدار منابع طبیعی مطرح می‌شود. این پژوهش با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، چارچوبی نوین برای پتانسیل‌سنجی زراعت چوب شیشم در استان خوزستان ارائه کرده است.

نتایج نشان داد که معیار فاصله از منابع و معیارهای اقلیمی با وزن‌های ۰/۶۲ و ۰/۲۲ مهم‌ترین معیار بودند. همچنین زیرمعیارهای فاصله از منابع آبی، ارتفاع از سطح دریا و خاک به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۳، ۰/۱۸ و ۰/۱۰ به‌عنوان کلیدی‌ترین عوامل تعیین مناطق مستعد عمل می‌کنند. این یافته‌ها با مطالعات پیشین روی گونه‌های مشابه مانند اکالیپتوس همسو است که بر اهمیت دسترسی به آب و توپوگرافی تأکید دارند (۲۰ و ۲۱).

مدل ترکیبی GIS-ANP در این پژوهش با دقت ۸۵٪، مساحتی حدود ۲۸۳۲/۸ هکتار از اراضی شمالی و مرکزی خوزستان را به‌عنوان مناطق بسیار مناسب شناسایی کرد. این مناطق با دارا بودن شرایطی مانند شوری خاک پایین (EC کم‌تر از ۴ dS/m)، عمق خاک بیش از ۱/۵ متر و بارش سالانه بالای ۴۵۰ میلی‌متر، از پتانسیل اکولوژیک ایدئالی برای کشت شیشم برخوردارند. مزیت رقابتی شیشم نسبت به گونه‌های غیربومی مانند اکالیپتوس، سازگاری ذاتی آن با خاک‌های شور و نیاز آبی پایین‌تر است (۱۹) که امکان کشت در اراضی حاشیه‌ای و کم‌بازده خوزستان را فراهم می‌کند.

استفاده از روش ANP در این مطالعه، با درنظرگرفتن وابستگی متقابل معیارها (مانند تأثیر

شوری خاک بر نیاز آبی در ترکیب با ارتفاع از سطح دریا)، برتری قابل‌توجهی نسبت به روش‌های سلسله‌مراتبی سنتی نشان داد. این رویکرد امکان مدل‌سازی واقعی‌تر شرایط اکولوژیکی را فراهم کرده و دقت پیش‌بینی را نسبت به مطالعات مشابه (مانند FAHP با دقت ۸۲٪) بهبود بخشید (۱۶). این یافته با پژوهش‌های بین‌المللی مانند مطالعه سیارس و دومینیکس (۲۰۲۳) در یونان که روش‌های ترکیبی را برای کشت درختان میوه پیشنهاد کردند، همخوانی دارد (۲۰). این مطالعه نشان داد که مناطق دارای پتانسیل در محدوده نزدیک به آبراهه‌های دائمی و در محدوده ارتفاعی حدود ۵۰ تا حداکثر ۵۵۰ متر قرار گرفته‌اند که با واقعیت میدانی پراکنش طبیعی این گونه همخوانی نزدیکی دارد. این مدل نشان داد که علی‌رغم حضور این گونه در شهر اهواز (محوطه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان)، این شهرستان در محدوده عرصه‌های دارای پتانسیل قرار نگرفت که این می‌تواند به دلیل دست کاشت بودن و ایجاد شرایط مصنوعی ایجاد شده برای این گونه در این شهرستان بوده باشد به‌طوری‌که علی‌رغم گذشت چندین سال هنوز وضعیت استقرار و زادآوری طبیعی آن نیز مبهم می‌باشد.

به‌طورکلی توسعه زراعت شیشم در مناطق شناسایی شده می‌تواند بخشی از نیاز سالانه چوب ایران را تأمین کند وابستگی به واردات را کاهش دهد و از فشار بر جنگل‌های طبیعی بکاهد. علاوه بر این، کشت این گونه در اراضی مناسب و حاشیه رودخانه‌ها، به احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده، کاهش فرسایش خاک و ایجاد اشتغال پایدار در مناطق روستایی کمک می‌کند (۱۸). این موضوع همسو با اهداف اقتصاد مقاومتی و توسعه سبز است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش نشان داد حدود ۲۸۳۲/۸ هکتار از اراضی شمالی و مرکزی خوزستان (شهرستان‌های دزفول و ایزه) با صحت ۸۵٪ به‌عنوان مناطق بسیار مناسب برای کشت شیشم شناسایی شدند. معیارهای دسترسی به منابع (وزن ۰/۶۲) و اقلیم (۰/۲۲) بیش‌ترین تأثیر را در تعیین پتانسیل اراضی داشتند، با زیرمعیارهای کلیدی شامل فاصله از منابع آبی (۰/۲۳)، ارتفاع از سطح دریا (۰/۱۸) و نوع خاک (۰/۱۰). اعتبارسنجی مدل ترکیبی GIS-ANP با دقت ۸۲٪ و ضریب کاپای ۰/۷۱، همخوانی بالای پیش‌بینی‌ها با پراکنش طبیعی گونه را تأیید کرد. این یافته‌ها امکان کاهش وابستگی به واردات چوب و حفظ جنگل‌های طبیعی را از طریق توسعه هدفمند زراعت شیشم در مناطق مستعد فراهم می‌نماید. اگرچه این پژوهش عوامل اکولوژیکی را به‌دقت بررسی کرد، اما عدم توجه جامع به متغیرهای اقتصادی-اجتماعی (مانند هزینه‌های کشت و بازارپسندی چوب شیشم) و تغییرات بلندمدت اقلیمی از محدودیت‌های آن محسوب می‌شود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، الگوهای آبیاری بهینه و تأثیرات بلندمدت کشت شیشم بر خاک‌های شور بررسی شود. هم‌چنین،

تدوین سیاست‌های تشویقی برای جلب مشارکت کشاورزان و سرمایه‌گذاران، نقش کلیدی در عملیاتی‌سازی نتایج این پژوهش خواهد داشت. ترکیب فناوری‌های مکانی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (ANP) در این مطالعه، نه‌تنها ابزاری قدرتمند برای مدیریت هوشمند منابع طبیعی ارائه می‌دهد، بلکه الگویی قابل‌تعمیم برای سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. توسعه زراعت چوب شیشم در خوزستان، با تلفیق مزیت‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی، گامی اساسی در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار و حفظ زیست‌بوم‌های طبیعی است.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی استانداری، سازمان جهاد کشاورزی و همکاری اداره کل منابع طبیعی استان خوزستان به انجام رسیده است. بدین‌وسیله، از همکاری و حمایت ادارات منابع طبیعی شهرستان‌های استان خوزستان در راستای اجرای پروژه صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

1. Sabeti, H. (1995). Trees and shrubs of Iran (1st ed.). Tehran University Press. 523p.
2. NAS. (1979). Tropical legumes: resources for the future. Washington, DC: National Academy of Sciences.
3. Nasir, E., & Ali, S. I. (1977). Flora of West Pakistan. Department of Botany, University of Karachi.
4. Grienson, A. J. C., & Long, D. G. (1987). Flora of Bhutan including a record of plants from Sikkim (Vol. III). Royal Botanic Garden, Edinburgh.
5. Erfanifard, Y., & Aali Beiranvand, F. (2016). Evaluating the intraspecific interactions of Indian Rosewood (*Dalbergia sissoo* Roxb.) trees in the Indian Rosewood Reserve of Khuzestan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 5(15), 15-26.
6. Browne, F. G. (1968). Pests and diseases of forest plantation trees. Clarendon Press.
7. Javaid, A., Bajwa, R., & Anjum, T. (2004). Identification of some more varieties of Shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) and their response to dieback and wilt. *Mycopath*. 2, 55-59.

8. Bhattacharya, M., Singh, A., & Ramrakhyani, C. (2014). *Dalbergia sissoo* - An important medical plant. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2(2), 76-82.
9. Abdullah, M., & Rafay, M. (2021). Ecology of *Dalbergia sissoo* (1st ed.). CRC Press.
10. Naqvi, S. A. H., Mushtaq, S., Malik, M. T., Umar, U. D., Rehman, A., Fareed, S., & Zulfiqar, M. A. (2019). Factors leading towards *Dalbergia sissoo* decline (Syndrome) in the Indian subcontinent: A critical review and future research agenda. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 32(2), 302-316.
11. Warman, R. D. (2014). Global wood production from natural forests has peaked. *Biodiversity and Conservation*. 23, 1063-1078.
12. Mohebi Gorgori, R., Bayat Kashkoli, A., & Moazami, V. (2018). Survey of effective criteria for sustainable development of poplar wood farming in Iran by the pair comparisons method. *Iranian Journal of Wood and Paper Industry*. 8(2), 235-249.
13. Vahidi, Z., & Salehnia, M. (2023). Economic analysis of wood farming development plans in Iran. *Agricultural Economics and Development*. 31(122).
14. Yashpal Singh, R. C., Mishra, S. D., Upadhyaya & Aradhana Singh. (2020). Growth performance, productivity, and carbon sequestration of wheat (*Triticum aestivum*)- Shisham (*Dalbergia sissoo*) based agri-silviculture system with special reference to tree pruning intensities and agronomic practices. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(1), 406-413.
15. Tavakoli Neko, H., & Pourmeidani, A. (2020). Evaluation of adaptation and performance of industrial Eucalyptus species in Qom wastewater station. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 26(4), 101-112.
16. Eskandari, S., Behnamfar, K., Pourghasemi, H. R., & Tiefenbacher, J. P. (2022). Provision of eucalyptus wood farming potential map in Iran: An application of land cover, ecological, climatic, hydrologic, and edaphic analysis in a GIS-based fuzzy AHP framework. *Ecological Indicators*. 136, Article 108621.
17. Calagari, M., Saleheh Shushtari, M., & Behnamfar, K. (2022). Comparison of wood and foliage production of four Eucalyptus species using management of short rotation coppice in the Koushkak research station. *Iranian Journal of Forest*. 14(1), 49-60.
18. Shah, K. K., Tiwari, I., Modi, B., Pandey, H. P., Subedi, S., & Shrestha, J. (2021). Shisham (*Dalbergia sissoo*) decline by dieback disease, root pathogens, and their management: A review. *Journal of Agriculture and Natural Resources*. 4(2), 255-272.
19. Sarhan, A. M. Z., Soliman, A. Sh., Al Atrash, E. N., & Sakranc, A. M. (2021). Chemical constituents and seedlings growth of *Dalbergia sissoo* Roxb. As affected by magnetic diluted seawater and biofertilization treatments. *Egyptian Journal of Chemistry*. 64(7), 3275-3287.
20. Tsiaras, S., & Domakinis, C. (2023). Use of GIS in selecting suitable tree crop cultivation sites in mountainous, less favoured areas: An example from Greece. *Forests*. 14, Article 1210.
21. Eskandari, S., Mahmoudi Sarab, S. A., & Zandifar, S. (2020). Identification of the prone lands for wood farming by Eucalyptus in Khuzestan province using fuzzy AHP. *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science)*. 11(1, 38), 48-71.
22. Rosa dos Santos, A., et al. (2017). Fuzzy logic applied to prospecting for areas for the installation of wood panel industries. *Journal of Environmental Management*. 193, 345-359.
23. Hossain, S. M. Y., & Martin, A. R. (2013). Merchantable timber production in *Dalbergia sissoo* plantations across Bangladesh: Regional patterns,

- management practices and edaphic factors. *Journal of Tropical Forest Science*. 25(3), 299-309.
24. Hamzapour, M., Sardabi, H., Bardbar, K., Abbasi, A. R., & Jokar, L. (2010). Assessment of the adaptability and performance of industrial Acacia provenance in various ecological regions of Iran. Research Report, Forest and Rangelands Research Institute Publications. 31p.
25. Shahbazi, F., Jafarzadeh, A. A., Sarmadian, F., Neyshabouri, M. R., Oustan, S., Anaya Romero, M., & Rosa, D. D. L. (2009). Suitability of wheat, maize, sugar beet, and potato using MicroLEIS DSS software in Ahar area, north-west of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 5, 45-52.
26. Rashidi, F., & Sharifian, S. (2019). Ecological potential assessment for forest plantation using ANP method (Case study: Arangeh Watershed, Alborz Province). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 26(1), 49-64.
27. Paramasivam, V., Senthil, V., & Rajam Ramasamy, N. (2011). Decision making in equipment selection: An integrated approach with digraph and matrix approach, AHP, and ANP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 54, 1233-1244.
28. Congalton, R. G., & Green, K. (2019). Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. CRC Press.

