Volume 4, Issue 13, February 2026, 1805-1822.

Online ISSN: 3041-9255

Journal of Human Ecology

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

Ecological Zoning of Southern Khorasan lands for Ferula assafoetida production using geographical Information system (Case study:Nehbandan)

Gholamreza Doraki *[1] Mohammad Ali Behdani [1] Morteza Esmaelnejad [2] Mohammad Hassan Sayyari Zahan [1]

1 Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2 Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Birjand, Birjand ,Iran.

Keywords

Nehbandan Gamma Operator Land Suitability Ferula assa-foetida Multi-Criteria Decision Making

A B S T R A C T

Ferula assa-foetida L. is a key medicinal-industrial species in Iran, and its cultivation development can simultaneously help protect natural habitats, provide local employment, and reduce raw sales. This study aimed to assess the ecological suitability of the location for the establishment and development of Ferula assa-foetida in Nehbandan County and provide an "action plan" for executive decision-making. Materials and Methods: Topographic data from DEM with a resolution of 30 meters, 15-year climate (precipitation, temperature, and humidity), and topsoil data (0–30 cm: texture, pH, EC, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, lime, gypsum, and saturated moisture) were collected and assimilated to a 30-meter grid. Layer normalization was performed with appropriate fuzzy functions (fuzzy large/small/medium/optimum). The criteria were weighted using the AHP based on the judgments of 15 experts, and the results were analyzed in Expert Choice software (CR=0.05<0.1). The final overlap was obtained using the gamma operator in ArcGIS Pro 3.4 ($\gamma = 0.8$) and the Jenks classification. “Rainfall” with a relative weight of 0.219 was the most effective factor, followed by “altitude” (0.146) and “temperature/LST” (0.120). The soil texture package had an intermediate share (sand 0.073, silt 0.040, clay 0.022), and the modifier indices, including saturated moisture (0.066) and slope direction (0.061), moderated the classes. In soil chemistry, pH (0.059) and salinity (EC=0.045) identified local limiting factors; the nutrients nitrogen (0.034), potassium (0.019), and phosphorus (0.010), as well as lime (0.011) and gypsum (0.007), played a secondary and manageable role. The final map showed “very suitable/suitable” cores mainly in the northern foothill belts and central-eastern outcrops; in contrast, the southern and southwestern plains were assigned to the “moderate to poor” classes due to low rainfall, high LST, and, in some places, ultra-sandy/salinity textures. The spatial skeleton of the suitability of Anghozeh in Nehbandan is built with the three pillars of “precipitation-altitude-temperature” and is trimmed with “texture-soil chemistry-slope direction”. Accordingly, it is recommended to focus investment and promotion on the "very suitable/suitable" islands of the north and east, and to improve border areas with targeted interventions commensurate with the "limiting factor" (reducing salinity/alkalinity, optimizing soil texture and moisture, selecting sunny directions). In addition to reducing pressure on harvesting from natural habitats, this study's output provides a basis for locating processing rings and reducing raw sales, and offers a generalizable model for provinces with the same climate.

*Corresponding Author.

Email Adresses: doraki_rg@birjand.ac.ir.

Doraki,G. , Behdani,M. A. , Esmaelnejad,M. and Sayyari Zahan,M. H. (2026). Ecological Zoning of Southern Khorasan lands for Ferula assafoetida production using geographical Information system (Case study:Nehbandan). *Human Ecology*, *4*(13), 1805-1822.

Doi: https://doi.org/10.22034/he.2025.551761.1160

سال چهارم، شماره سیزدهم، زمستان ۱۴۰۴،۱۸۰۵-۱۸۲۲.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

پهنه بندی اکولوژیکی اراضی خراسان جنوبی برای تولید آنغوزه (Ferula assa-foetida L.) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: نهبندان)

غلامرضا دره کی*[۱] محمدعلی بهدانی [۱] مرتضی اسمعیل نژاد [۲] محمدحسن سیاری زهان [۱]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، شهر بیرجند، کشور ایران.

[۲] گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه بیرجند، شهر بیرجند، کشور ایران.

چکیده

آنغوزه (Ferula assa-foetida L.) از گونه‌های دارویی- صنعتی کلیدی ایران است که توسعه کشت آن می‌تواند همزمان به حفاظت رویشگاه‌های طبیعی، اشتغال محلی و کاهش خام‌فروشی کمک کند. این پژوهش با هدف ارزیابی مکانیِ تناسب اکولوژیکی برای استقرار و توسعه آنغوزه در شهرستان نهبندان و ارائه «نقشه عمل» برای تصمیم‌گیری اجرایی انجام شد. داده‌های توپوگرافی از DEM با تفکیک ۳۰ متر، اقلیم ۱۵ساله (بارندگی، دما و رطوبت)، و داده‌های خاک سطحی (۰–۳۰ سانتی‌متر: بافت، pH، EC، ماده آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهک، گچ و رطوبت اشباع (گردآوری و به شبکه ۳۰ متری همسان‌سازی شد. نرمال‌سازی لایه‌ها با توابع فازی مناسب (fuzzy large/small/medium/optimum)انجام گرفت. وزن‌دهی معیارها با AHP بر پایه قضاوت ۱۵ خبره و در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه شد .(CR=0.05<0.1) هم‌پوشانی نهایی با عملگر گاما در ArcGIS Pro 3.4 (γ=0.8)و طبقه‌بندی Jenks به‌دست آمد. «بارندگی» با وزن نسبی ۰.۲۱۹ مؤثرترین عامل بود؛ پس از آن «ارتفاع» (۰.۱۴۶) و «دما (0.120) «LST/قرار گرفتند. بسته بافت خاک سهم میان‌مرتبه‌ای داشت (شن ۰.۰۷۳، سیلت ۰.۰۴۰، رس ۰.۰۲۲) و شاخص‌های اصلاح‌گر شامل رطوبت اشباع (۰.۰۶۶) و جهت شیب (۰.۰۶۱) طبقات را تعدیل کردند. در شیمی خاک، (0.059) pHو شوری (EC=0.045) کانون‌های محدودکننده موضعی را مشخص ساختند؛ عناصر غذایی نیتروژن (۰.۰۳۴)، پتاسیم (۰.۰۱۹) و فسفر (۰.۰۱۰) و نیز آهک (۰.۰۱۱) و گچ (۰.۰۰۷) نقشی ثانوی و قابل مدیریت داشتند. نقشه نهایی، هسته‌های «خیلی مناسب/ مناسب» را عمدتاً در کمربندهای کوه‌پایه‌ای شمال و برآمدگی‌های مرکزی– شرقی نشان داد؛ در مقابل، دشت‌های جنوب و جنوب‌غرب به دلیل هم‌زمانی کم‌بارشی، LSTبالا و در برخی نقاط بافت فوق‌شنی/ شوری در طبقات «متوسط تا ضعیف» قرار گرفتند. اسکلت مکانیِ تناسب آنغوزه در نهبندان با سه ستون «بارش– ارتفاع– دما» بنا و با «بافت– شیمی خاک– جهت شیب» تراش می‌خورد. بر این اساس، تمرکز سرمایه‌گذاری و ترویج در جزایر «خیلی مناسب/ مناسب» شمال و شرق، و ارتقای پهنه‌های مرزی با مداخلات هدفمند متناسب با «عامل محدودکننده» (کاهش شوری/ قلیاییت، بهینه‌سازی بافت و رطوبت خاک، انتخاب جهات آفتاب‌گیر) توصیه می‌شود. برونداد این مطالعه، علاوه بر کاهش فشار برداشت از رویشگاه‌های طبیعی، زمینه مکان‌یابی حلقه‌های فرآوری و کاهش خام‌فروشی را فراهم می‌کند و الگوی قابل تعمیمی برای استان‌های هم‌اقلیم ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی

نهبندان عملگر گاما تناسب اراضی آنغوزه (Ferula assa-foetida)

تصمیم‌گیری چندمعیاره

ارجاع به این مقاله: دره کی،غلامرضا، بهدانی،محمدعلی، اسمعیل نژاد،مرتضی و سیاری زهان،محمدحسن. (۱۴۰۴). پهنه بندی اکولوژیکی اراضی خراسان جنوبی برای تولید آنغوزه (Ferula assa-foetida L.) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: نهبندان). اکولوژی انسانی، ۴(۱۳)، ۱۸۰۵–۱۸۲۲.

۱. مقدمه

گیاهان دارویی از مهم‌ترین سرمایه‌های زیستی ایران و جهان به‌شمار می‌آیند و در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری اصولی می‌توانند نقشی مؤثر در ارتقای سلامت جامعه، تنوع‌بخشی به اقتصاد و افزایش صادرات غیرنفتی داشته باشند. آمارهای جهانی نشان می‌دهد ارزش تجارت گیاهان دارویی طی چند دهه اخیر روندی صعودی داشته و از چند صد میلیون دلار در دهه ۱۹۷۰ به ده‌ها میلیارد دلار در سال‌های اخیر رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در افق ۲۰۵۰ به صدها میلیارد دلار برسد (قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶؛ معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، ۱۳۹۳؛ یوسف‌زاده، ۱۳۸۷). با وجود این روند، سهم ایران از این بازار در مقایسه با پتانسیل اکولوژیک و تنوع گونه‌ای بسیار ناچیز و کمتر از نیم درصد گزارش شده است (قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶).

ایران به‌همراه ترکیه از غنی‌ترین کشورها از نظر تنوع گیاهان دارویی در جهان است؛ از حدود ۸۰۰۰ گونه گیاهی ثبت‌شده در منابع طبیعی کشور، نزدیک به ۲۳۰۰ گونه دارای خواص دارویی هستند، اما تنها بخش کوچکی از آن‌ها در فهرست رسمی صادرات و واردات قرار دارد و هنوز اتکای اصلی به برداشت از رویشگاه‌های طبیعی است (میر، ۲۰۱۸؛ دهقانپور، ۲۰۱۹). طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۹)، سطح زیرکشت گیاهان دارویی زراعی (آبی و دیم) در سال ۱۳۹۸ حدود ۸۹ هزار هکتار با تولید ۲۸۴ هزار تن بوده است و استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، فارس، کرمان، همدان و اصفهان در مجموع نزدیک به ۸۹ درصد این سطح را به خود اختصاص داده‌اند. در سند ملی گیاهان دارویی و طب سنتی (۱۳۹۲) کاهش برداشت از عرصه‌های طبیعی و افزایش سطح زیرکشت گونه‌های دارویی و اسانس‌دار تا مرز ۵۰۰ هزار هکتار در افق ۱۴۰۴ به‌عنوان هدف‌گذاری کلان مطرح شده است (محدث حسینی، ۲۰۱۹). تحقق این اهداف بدون شناسایی دقیق پهنه‌های مستعد و ارزیابی تناسب اکولوژیک اراضی امکان‌پذیر نیست.

آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) یکی از گونه‌های دارویی–صنعتی راهبردی کشور است که خاستگاه اصلی آن ایران و افغانستان بوده و رویشگاه‌های طبیعی آن در گستره وسیعی از فلات مرکزی تا بخش‌هایی از زاگرس در استان‌هایی مانند کرمان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، فارس، یزد و سمنان گزارش شده است (مهرپور و همکاران، ۲۰۱۶؛ حسینی بمرود و مهدوی، ۱۳۹۲). مساحت رویشگاه‌های طبیعی این گونه در ایران حدود ۲۴۰ هزار هکتار برآورد شده است (قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶). صمغ آنغوزه که از تیغ‌زنی ریشه و یقه گیاه به‌دست می‌آید، به‌دلیل ترکیبات گوگردی و رزینی فراوان، در صنایع دارویی (ضد اسپاسم، ضد انگل، قاعده‌آور، ضد تشنج، بادشکن)، صنایع غذایی به‌عنوان چاشنی، و همچنین در برخی کاربردهای صنعتی (چسب الماس) مورد استفاده است (زرگری، ۱۳۷۵؛ ایرانشاهی، ۲۰۱۱؛ کاووسی و روشن، ۲۰۱۳). این محصول برای بهره‌برداران روستایی مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در جنوب خراسان، منبع درآمدی قابل توجه به‌شمار می‌رود و در عین حال بخش عمده‌ای از آن به‌صورت خام صادر می‌شود (خسروی و همکاران، ۲۰۰۶؛ خرمی، ۲۰۰۷؛ تفقدی سبحانی و همکاران، ۱۳۹۷.)

با وجود ارزش اقتصادی و دارویی، الگوی بهره‌برداری آنغوزه در سال‌های اخیر عمدتاً بر برداشت سنتی و غیرعلمی از رویشگاه‌های طبیعی استوار بوده است؛ موضوعی که باعث کاهش تراکم بوته‌ها و تهدید پایداری جمعیت‌ها شده است (زارع کاریزی و همکاران، ۲۰۱۱؛ قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶). از سوی دیگر، نبود صنایع فرآوری در بسیاری از مناطق تولید، از جمله خراسان جنوبی، موجب شده است بیش از ۹۰ درصد محصول به‌صورت خام صادر شود و منافع اصلی زنجیره ارزش نصیب واسطه‌ها شود (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۶). در چنین شرایطی، راهبرد «اهلی‌سازی و توسعه کشت در اراضی مستعد» می‌تواند هم فشار برداشت از رویشگاه‌های طبیعی را کاهش دهد و هم امکان شکل‌گیری زنجیره‌های ارزش محلی و ایجاد اشتغال روستایی را فراهم کند (بوستانی، ۱۳۸۴؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۸).

نیازهای اکولوژیک آنغوزه در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد این گونه عمدتاً در مناطق نسبتاً مرتفع، با بارندگی سالانه حدود ۲۰۰–۳۵۰ میلی‌متر، دامنه‌های متوسط تا تند، خاک‌های سبک تا لومی–شنی و اغلب بر روی سازندهای مارنی–گچی مستقر می‌شود (شاد، ۱۹۹۶؛ شاه، ۲۰۰۴؛ باقری و همکاران، ۱۳۹۱؛ زارع کاریزی و همکاران، ۲۰۱۱؛ عبدل‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). پیرمرادی (۱۳۹۰) و نصیری بزنجانی و همکاران (۱۳۹۶) بر نقش بافت خاک، شوری، آهک و برخی شاخص‌های شیمیایی در تفاوت عملکرد شیره‌دهی در رویشگاه‌های مختلف کرمان تأکید کرده‌اند؛ پوشیده‌رو و احمدی‌زاده (۱۳۹۶) نیز در استان خراسان جنوبی نشان دادند که شاخص‌های اقلیمی مانند هم‌دمایی، شیب و دمای متوسط سالانه در مطلوبیت رویشگاه آنغوزه نقش کلیدی دارند. این نتایج در مجموع نشان می‌دهد که توزیع و عملکرد این گونه تابع ترکیب پیچیده‌ای از عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاکی است و نمی‌توان صرفاً بر پایه تجربه محلی، اراضی مناسب را شناسایی کرد.

از منظر برنامه‌ریزی کاربری اراضی، پهنه‌بندی بوم‌شناختی–کشاورزی ابزار مهمی برای ارزیابی توان اراضی، طراحی الگوی بهینه کشت و هدایت سیاست‌گذاری‌های توسعه محصول به‌شمار می‌رود (فائو، ۲۰۰۲؛ فاتحی و همکاران، ۲۰۰۴؛ صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵). توسعه

سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) مانند AHP امکان تلفیق هم‌زمان معیارهای متعدد طبیعی، خاکی، اقلیمی و توپوگرافی را فراهم کرده است(Malczewski, 2006) ؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۴ .(در ایران، مطالعات مختلفی تناسب اراضی برای محصولات زراعی و برخی گونه‌های درختی و مرتعی را با ترکیب GIS و AHP ارزیابی کرده‌اند؛ از جمله مکان‌یابی اراضی مناسب کشت گندم (بیابانی و همکاران، ۱۳۹۶)، کلزا (مرادی و همکاران، ۱۳۹۹)، زعفران (کوزه‌گران و همکاران، ۲۰۱۱؛ رشید سرخ‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴)، پنبه (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴) و کهور ایرانی (پاکزاد و اسلامی، ۱۳۹۶). در مورد آنغوزه نیز پژوهش سعادت‌فر و همکاران (۱۳۹۷) در منطقه چترود کرمان با استفاده از AHP وGIS ، چهار کلاس تناسب اراضی را استخراج و نشان دادند که حدود ۱۷ درصد اراضی دارای تناسب بالا برای این گونه است. با این حال، در مقیاس شهرستانی و به‌ویژه در جنوب خراسان جنوبی، هنوز چارچوبی یکپارچه که ترکیب کامل داده‌های اقلیم، خاک و توپوگرافی را در قالب یک مدل فازی–چندمعیاره برای آنغوزه به‌کار گیرد، به‌صورت عملیاتی گزارش نشده است.

شهرستان نهبندان در جنوب استان خراسان جنوبی به‌عنوان یکی از کانون‌های مهم تولید و برداشت آنغوزه شناخته می‌شود؛ ناحیه‌ای خشک–گرم و شکننده که از یک‌سو با افت شاخص‌های توسعه روستایی، مهاجرفرستی و کاهش جمعیت مواجه است و از سوی دیگر، پتانسیل بالایی برای توسعه کشت گیاهان دارویی دارد (حسینی بمرود و مهدوی، ۱۳۹۲؛ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۶). در چنین بستری، شناخت دقیق پهنه‌های اکولوژیکی مناسب برای استقرار و توسعه کشت آنغوزه می‌تواند در قالب یک «نقشه عمل» به سیاست‌های تنوع‌بخشی اقتصاد محلی، ایجاد زنجیره ارزش و کاهش خام‌فروشی کمک کند.

بر این اساس، اهداف اصلی این پژوهش عبارت است از:

۱. شناسایی و وزن‌دهی مهم‌ترین معیارهای اقلیمی، توپوگرافی و خاکی مؤثر بر تناسب اکولوژیکی آنغوزه در شهرستان نهبندان با استفاده ازAHP ؛
۲. نرمال‌سازی فازی معیارها و تولید نقشه پیوسته تناسب اراضی با استفاده از عملگر گامای فازی در محیطGIS ؛
۳. طبقه‌بندی نقشه تناسب به کلاس‌های کاربردی و استخراج هسته‌های «خیلی مناسب/ مناسب» و پهنه‌های مرزی قابل ارتقا؛
۴. تفسیر نتایج در قالب «عامل محدودکننده» برای هر پهنه و ارائه پیشنهادهای مدیریتی و مکانی برای استقرار کشت و جانمایی حلقه‌های فرآوری.

نوآوری اصلی پژوهش در دو سطح است: از یک سو، تلفیق داده‌های تفصیلی خاک (فیزیکی و شیمیایی)، اقلیم و توپوگرافی در مقیاس ۳۰ متر با رویکرد–AHP فازی–گاما، و از سوی دیگر، ترجمه نقشه تناسب به «نقشه عمل» بر اساس مفهوم عامل محدودکننده، به‌گونه‌ای که نتایج برای مدیران اجرایی و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی و منابع طبیعی قابل‌استفاده باشد.

۲. روش شناسی تحقیق

منطقهٔ مطالعاتی نهبندان (پهنه‌ای خشک ـ گرم در جنوب خراسان جنوبی) میان مختصات°۳۱ ´۳۵ تا°۳۳ ´۰۵ عرض شمالی و°۵۸ ´۰۵ تا°۶۰ ´۱۰ طول شرقی قرار دارد و به‌طور متوسط سالانه ۱۱۰ میلی‌متر بارش و ۲۱ درجه سانتی‌گراد دمای میانگین دریافت می‌کند؛ ارتفاع از ۸۰۰ تا ۲۶۰۰ متر متغیر است و خاک‌های غالب، شنی–لومی تا مارنی با هدایت الکتریکی پایین را شامل می‌شود (حسینی بمرود و مهدوی، ۱۳۹۲؛ شاد، ۱۹۹۶). برای تبیین بستر اکولوژیک Ferula assa-foetida، ابتدا مدل رقومی ارتفاع SRTM با تفکیک ۳۰ متر از پایگاه USGS اخذ و پس از تصحیح هیدرولوژیک، مشتقات توپوگرافی (شیب و جهت) استخراج شد. داده‌های اقلیمی ۱۵–ساله (۱۳۸۵–۱۴۰۰) شامل بارش ماهانه، دمای حداقل، حداکثر و میانگین و رطوبت نسبی از ۱۵ ایستگاه همدید اطراف منطقه گردآوری و با روش کریجینگ عادی در محیط ArcGIS Pro 3.4 به شبکه‌ای همسان با گام ۳۰ متر میان‌یابی شد تا ناهمگنی مکانی ایستگاه‌ها تعدیل گردد.(Malczewski, 2006)

برای بهنگام‌سازی لایه‌های خاک‌شناسی و تکمیل شکاف‌های بانک ملی خاک، در تابستان ۱۴۰۲ نمونه‌برداری زمین‌مرجع به شیوه شبکه‌ای سیستماتیک اجرا شد. بیست‌وسه واحد فیزیوگرافیک که طی بازدیدهای مقدماتی بیشترین همگنی سنگ–بستر و کاربری را داشتند برگزیده و در هر واحد پنج کرت مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت گردید؛ چهار نقطه در گوشه‌های مربع ۲۰ × ۲۰ متری و یک نقطه از مرکز آن .(ISO 10381-4) نقاط برداشت با گیرنده دستی Garmin 64s در سیستم WGS-84 ثبت شد. پس از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متر، نمونه‌ها برای بافت (هیدرومتری)، pH گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره ۱:۵، آهک (کلسیمتری)، گچ (استالاگمتر)، مادهٔ آلی (والکی–بلاک)، نیتروژن کل (کجلدال)، فسفر قابل استفاده (اولسن)، پتاسیم (فلیم‌فتومتر) و رطوبت اشباع تحلیل گردید (زرین‌کفش، ۱۳۸۰). بدین ترتیب ماتریس متغیرهایsand، silt، clay، pH، EC، OM، N، P، K، $CaCO_3$، gypsumو moisture همراه با بارندگی، دما، ارتفاع، شیب، جهت شیب و درصد شیب تکمیل شد؛ مجموعه‌ای که مطالعات قبلی آنغوزه در ایران نیز مؤثرترین عوامل رویش و شیره‌دهی را در میان آنها گزارش کرده‌اند (پیرمردادی، ۱۳۹۰؛ نصیری بزنجانی و همکاران، ۱۳۹۶).

تمام لایه‌های پیوسته به مقیاس مشترک صفر تا یک تبدیل شد تا امکان ترکیب ریاضی فراهم آید. در متغیرهای سودمند (بارش، مادهٔ آلی، نیتروژن) مقادیر بیشینه به ۱ و کمینه به صفر نگاشت شد؛ در متغیرهای محدودکننده (EC، شیب) روند وارونه اعمال گردید تا افزایش مقدار نشانه کاهش مطلوبیت باشد (FAO، ۲۰۰۲). وزن‌دهی شاخص‌ها از طریق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ساعتی انجام گرفت. یک پرسشنامه زوجی ۱–۹ میان پانزده خبره شامل اعضای هیئت علمی علوم خاک، مرتعداری، اقلیم‌شناسی و بهره‌برداران باسابقه توزیع شد. پاسخ‌ها با میانگین هندسی در Expert Choice ادغام گردید و نرخ ناسازگاری در تمام ماتریس‌ها کمتر از ۰/۰۸ محاسبه شد؛ بدین‌ترتیب قضاوت‌ها با معیار پذیرش ۰/۱ قدسی‌پور (۱۳۹۵) سازگار بودند.

در گام تلفیق، از مدل گاما ـ خطی وزندار استفاده شد؛ مدلی که از ترکیب میانگین وزنی و ضرب جبری، درجه جبرانی تصمیم را از طریق پارامتر γ تنظیم می‌کند (Malczewski, 2006). سه مقدار ۰/۶، ۰/۸ و ۰/۹ آزمون و بر مبنای بیشترین همپوشانی با رخدادهای میدانی γ = ۰/۸ بهینه تشخیص داده شد.

تلفیق وزندار (عملگر گاما). پس از اعمال وزن‌ها به‌صورت

$$\tilde{\mu}_i = \mu_i^{w_i}, \quad (1)$$

نقشه نهایی با عملگر گامای فازی محاسبه شد :

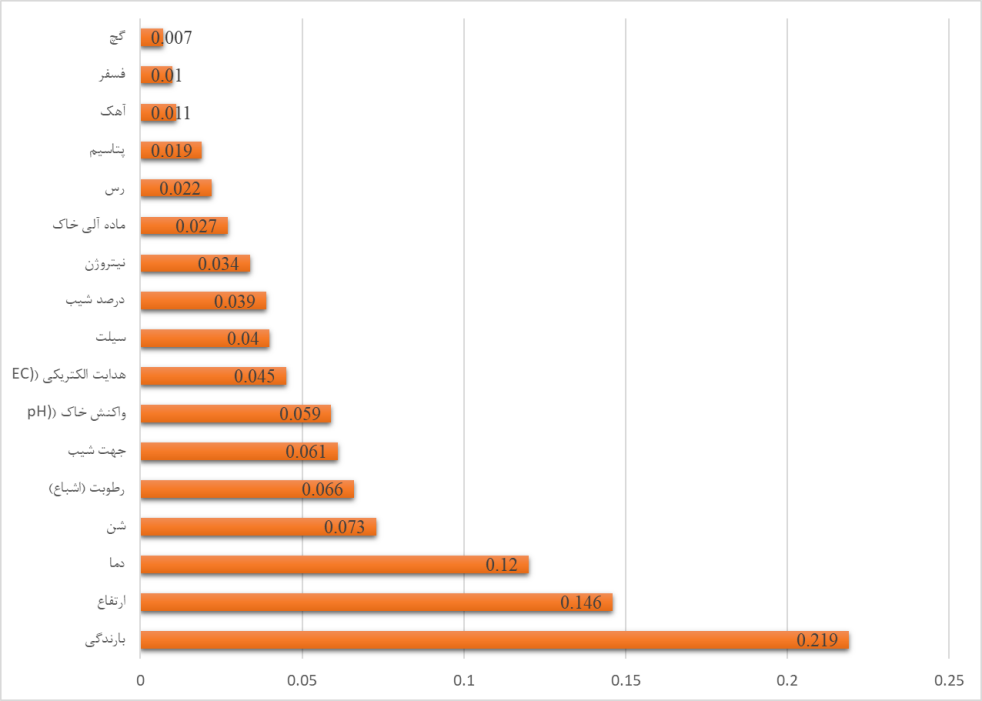
$$\mu_\gamma = \left(\prod_{i=1}^{n} \tilde{\mu}_i\right)^{1-\gamma} \times \left(1 - \prod_{i=1}^{n} (1-\tilde{\mu}_i)\right)^{\gamma}, \quad \gamma = 0.8. \quad (2)$$

این پیاده‌سازی در **Raster Calculator** انجام شد. خروجی پیوسته با روش **Jenks** به پنج کلاس («خیلی مناسب/ مناسب/ متوسط/ ضعیف») تقسیم شد.

۳. نتایج

نتایج AHP نشان داد «بارندگی» با وزن ۰.۲۱۹ تعیین‌کننده‌ترین عامل تناسب رویشگاه در نهبندان است. این برتری با گزارش‌های چترود کرمان همخوان است که نقش مستقیم بارش را در شکل‌دهی رویشگاه‌های «خیلی مناسب» تأیید کرده‌اند (سعادت‌فر و همکاران، ۱۳۹۷). در اقلیم فراخشک شرق کشور، حتی افزایش‌های ده‌ها میلی‌متری در بارندگی سالانه، مرز بین استقرار موفق و شکست جوانه‌زنی را رقم می‌زند؛ بنابراین طبیعی است که عملگر گاما نسبت به سلول‌های پر بارش حساسیت بیشتری نشان دهد و آنها را به سمت عضویت‌های بالاتر سوق دهد. پس از بارش، «ارتفاع» با وزن ۰.۱۴۶ قرار دارد؛ این وزن بالا یادآور یافته‌های باقری و همکاران (۱۳۹۱) است که اوج شیره‌دهی را در ارتفاعات میانی ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر گزارش کردند. مکانیسم‌های پشت‌صحنه روشن‌اند: هوای خنک‌تر شبانه، نوسان روزانه ملایم‌تر، تعریق کمتر و مه‌نشستی‌های محلی که در ارتفاعات رخ می‌دهند، همگی به تعادل آب سبز در خاک و گیاه کمک می‌کنند. «دما»ی سطح (LST) با وزن ۰.۱۲۰ سومین عامل کلیدی است؛ نزدیکی وزن دما و ارتفاع نشان می‌دهد که بخشی از اثر ارتفاع در حقیقت از مسیر کنترل دما اعمال می‌شود. همین سه عامل (بارش، ارتفاع و دما) «بخش اقلیمی» مدل را می‌سازند و عملاً گارد اولیه را برای ورود سلول‌ها به کلاس‌های بالای تناسب تشکیل می‌دهند.

در رسته عوامل خاک‌ریختی، «شن» (۰.۰۷۳)، «سیلت» (۰.۰۴۰) و «رس» (۰.۰۲۲) در مجموع ۰.۱۳۵ از وزن کل را به خود اختصاص داده‌اند. این سهم قابل توجه بیانگر آن است که حتی در صورت فراهم بودن بارش و ارتفاع، بدون بافت مناسبِ لومی–شنی، آنغوزه به‌سختی می‌تواند بدنه ریشه و مارپیچ‌های انتقال رزین را به‌خوبی توسعه دهد؛ یافته‌ای که با نتایج پیرمرادی (۱۳۹۰) و نصیری بزنجانی و همکاران (۱۳۹۶) روی مارن‌های گچی هم‌خوانی دارد. «رطوبت» با وزن ۰.۰۶۶ و «جهت شیب» با ۰.۰۶۱ جایگاه میانی دارند؛ این دو شاخص بیشتر نقش «اصلاح‌کننده» بازی می‌کنند: رطوبت به شرطی مفید است که جهت شیب تابش را تا حد نیاز تأمین کند و بالعکس. در رسته خاک‌های شیمیایی، (0.059) «pH» و (0.045) «EC» اهمیت بیشتری از عناصر غذایی دارند؛ زیرا اثر جمع‌شونده و همیشگی آنها بر فراهمیِ عناصر و کارکرد ریشه غالباً با مدیریت ساده قابل حذف نیست. عناصر غذاییِ سنجیده‌شده یعنی «نیتروژن» (۰.۰۳۴)، «پتاسیم» (۰.۰۱۹) و «فسفر» (۰.۰۱۰) و همچنین «ماده آلی» (۰.۰۲۷) در یک پله پایین‌تر قرار گرفته‌اند؛ این وزن‌های نسبتاً کم به معنای کم‌اهمیت بودن نیست، بلکه بیشتر بازتاب این واقعیت است که کمبود غذا را می‌توان با مدیریت زراعی اصلاح کرد، درحالی‌که بارش یا گسلش ارتفاعی در کوتاه‌مدت قابل تغییر نیست. نهایتاً «آهک» (۰.۰۱۱) و «گچ» (۰.۰۰۷) کمترین وزن‌ها را دارند؛ اثر آنها عموماً از راه تغییر pH و ساختار خاک ظاهر می‌شود و تا حدی در مدل توسط همبستگی با pH و بافت جذب شده است. مطلوب آن‌که نرخ ناسازگاری ۰.۰۵ نشان می‌دهد قضاوت خبرگان یکپارچه و قابل اتکاست.



شکل ۱. نمودار وزن شاخص ها

۳.۱. الگوی مکانی اقلیم و پیامد زیست‌پذیری

نقشه بارشِ ۱۵ساله، شیبی شمال‌غرب–جنوب را به‌وضوح نشان می‌دهد: پشته‌های شمالی و کوه‌پایه‌های میانی، در لبه‌های سرایان و سر بیشه، سالانه حدود ۱۴۰–۱۴۸ میلی‌متر دریافت می‌کنند، درحالی‌که دشت‌های جنوبی و حاشیه‌های لوت به کمتر از ۷۰ میلی‌متر می‌رسند. این گرادیان در مدل فازیِ «fuzzy large» به معنی عضویت بالا برای نیمه‌ی شمالی و تنزل امتیاز برای جنوب است. لایه LST نیز همین داستان را از زاویه دیگری روایت می‌کند: شمال و شمال‌شرق خنک‌تر (۲۰–۳۰ درجه)، جنوب داغ‌تر (تا بیش از ۶۰ درجه). در مدل، برای LSTتابع «fuzzy small» به‌کار رفته است؛ بنابراین خنکی نسبی شمال امتیاز اکولوژیک را تقویت و داغی جنوب آن را کاهش می‌دهد. وقتی ارتفاع با تابع «fuzzy optimum» (پیک عضویت در ۱۹۰۰–۲۴۰۰ متر) به این دو لایه اضافه می‌شود، کانون‌های «کاملاً مناسب» در همان کمربندهای برآمده‌ی شمالی–مرکزی ظاهر می‌شوند؛ دقیقاً جایی که ادبیات موضوع بالاترین شیره‌دهی را گزارش کرده بود (باقری و همکاران، ۱۳۹۱؛ سعادت‌فر و همکاران، ۱۳۹۷).

۳.۲. توپوگرافی

نقشه درصد شیب نشان می‌دهد اسکلت ناهمواری شهرستان از دو کمربند تشکیل شده است: کمربند کوهستانی شمال و رگه‌های برآمده مرکزی با شیب‌های غالباً بیش از ۱۵ درصد، و کمربند دشت‌های جنوب با شیب کمتر از ۸ درصد. تابع عضویت شیب به‌صورت افزایشی تعریف شد تا زمین‌های ۱۵–۳۰ درصد امتیاز بالاتر بگیرند؛ زیرا برای آنغوزه، دامنه‌های متوسط–تند با زهکشی بهتر و رقابت علفی کمتر مطلوب‌ترند (شاد، ۱۳۷۵؛ شاه، ۲۰۰۴). در این میان «جهت شیب» نقش تصحیح‌کننده دارد. کلاس‌های آفتاب‌گیر جنوب‌شرقی تا جنوب‌غربی به‌طور سیستماتیک امتیاز بیشتری دریافت کردند؛ بدین‌ترتیب دامنه‌های نیم‌روز با وجود شیب مساوی نسبت به دامنه‌های رو به شمال امتیاز بالاتری گرفته‌اند. اثر توأمان شیب و جهت، در امتداد یال‌های سنگی شمال و قطعات برآمده شرق، به تشکیل «جزایر تناسب» کمک کرده است؛ جزایری که اگرچه کوچک‌اند، اما به دلیل انرژی تابشی و تهویه مناسب، احتمال استقرار اولیه بوته‌ها در آنها بسیار بالاست.

۳.۳. بافت خاک

برآیند سه مؤلفه شن، سیلت و رس در نهبندان تصویری روشن دارد: جنوب و جنوب‌شرق شنی‌تر، شمال‌غرب و لکه‌های مارنی مرکزی ریزدانه‌تر. تابع عضویت شن از نوع «fuzzy medium» تنظیم شد تا پیرامون ۶۰ درصد شن بیشترین امتیاز حاصل شود؛ زیرا بافت خیلی شنی به کمبود آب منجر و بافت خیلی ریزدانه به قفل‌آب و تهویه ضعیف می‌انجامد. سیلت با تابع «small-medium» و رس با «small» نرمال شدند تا بازه‌های ۲۵–۳۰ درصد سیلت و کمتر از ۸–۹ درصد رس بیشترین امتیاز را بگیرند. برآیند این استانداردسازی‌ها باعث شد کمربند لومی–شنیِ مرکز–جنوب‌غرب، از حاشیه نهبندان تا دشت گرماب، از نظر بافت امتیاز برتری کسب کند و در تلفیق نهایی، هرجا اقلیم

اجازه دهد، به طبقات «مناسب» راه یابد. برعکس، لکه‌های سیلتی–رسی شمال‌غرب و هسته‌های رسی جنوب‌غرب، حتی با بارش یا ارتفاع مناسب، به دلیل محدودیت هوادهی و خطر سله سطحی، در طبقات پایین‌تر باقی مانده‌اند؛ نتیجه‌ای که با مشاهدات میدانی پیرمرادی (۱۳۹۰) و گزارش‌های کرمان (نصیری بزنجانی و همکاران، ۱۳۹۶) همخوان است.

۳.۴. شیمی خاک:

pH خاک‌های نهبندان در بازه نسبتاً محدود ۸.۰۶–۸.۲۷ نوسان دارد؛ اما همین تغییرات ظریف از نظر امکان فراهمی فسفر و ریزمغذی‌ها مهم‌اند. تابع «fuzzy small» به مقادیر نزدیک ۸ امتیاز بیشتر و به قلیاییت بالاتر امتیاز کمتر داد؛ بنابراین دشت‌های جنوب‌غربی که به ۸.۲۴ می‌رسند، در مدل نهایی کمی تضعیف شده‌اند، درحالی‌که شمال و کفه‌های میانی با pH ~8.07 جایگاه بهتری پیدا کرده‌اند. رسانایی الکتریکی (EC) نیز با تابع «fuzzy small» استاندارد شد تا نواحی با $EC<1.2\ dS\ m^{-1}$ حداکثر امتیاز بگیرند. لکه شوری جنوب‌غربی (همزمان با کم‌شیبی و تبخیر بالا) به شکل چشم‌گیری عضویت را کاهش داده و مانع ورود این سلول‌ها به کلاس‌های بالاتر شده است. «آهک» و «گچ» اگرچه وزن پایینی دارند، اما به‌ویژه در کانون‌های پرآهک شمال‌غرب و پُرگچ جنوب‌شرق، از طریق اثرگذاری بر ساختار خاک و قفل‌کردن فسفر، نقش کاهنده داشته‌اند. به‌طور کلی، ترکیب pH نزدیک به ۸، EC پایین و آهک/گچ کم در نوار مرکزی– شرقی فراهم آمده و همان‌جاهاست که در نقشهٔ خروجی، کلاس‌های «مناسب» با لکه‌های پیوسته‌تری دیده می‌شود.

۳.۵. مواد غذایی و ماده آلی:

الگوی مکانی نیتروژن نشان می‌دهد که دشت سیلتی شمال (نزدیک مرز سربیشه) به دلیل سابقه کشت و تجمع بقایا، غنی‌تر است و به‌واسطه تابع «fuzzy large» امتیاز بیشتری گرفته است. پتاسیم قابل جذب در شرق و شمال‌غرب هسته‌های بالاتری دارد که احتمالاً با جوانی رسوبات و کانی‌شناسی منطقه مرتبط است. فسفر قابل جذب نیز هشتیِ مشخصی در مخروط‌افکنه‌های جنوب‌شرق دارد. این سه لایه به دلیل وزن کمتر (به‌ترتیب ۰.۰۳۴، ۰.۰۱۹ و ۰.۰۱۰) به‌تنهایی تعیین‌کننده کلاس تناسب نیستند، اما هرجا سایر شرایط در مرز تردید بوده، نقش «تیک» نهایی را بازی کرده‌اند: مثلاً اراضی با بارش متوسط و بافت مناسب در شرق، اگر پتاس یا فسفرشان در حد بالاتر باشد، از «متوسط» به «مناسب» جهش کرده‌اند. ماده آلی با تابع «fuzzy small» استاندارد شد تا خاک‌های فقیر (در حد ۰٫۱۲– ۰٫۱۵ درصد) امتیاز بیشتری بگیرند؛ استدلال این بود که آنغوزه گیاهی کم‌توقعِ مناطق فقیر است و ماده آلی بالا در اقلیم‌های گرم و خشک می‌تواند به تجمع نمک و افزایش جمعیت علفی رقیب بینجامد (پیرمرادی، ۱۳۹۰). این انتخاب باعث شد هسته مرکزیِ پُرماده‌آلی (اگرچه به‌لحاظ اقلیمی مناسب) در نمره نهایی کمی عقب بیفتد و نوارهای فقیرتر شرق و شمال، با مدیریت کودی آینده‌نگر، امتیاز بهتری بگیرند. در مقام توصیه مدیریتی، این یافته‌ها به‌روشنی می‌گویند که در مناطق «مرزی»، یک بسته مدیریت تغذیه‌ای کم‌هزینه (کود فسفره پیش‌کاشت، کود پتاسه و مالچ آلی سبک) می‌تواند کلاس تناسب را یک پله ارتقا دهد.

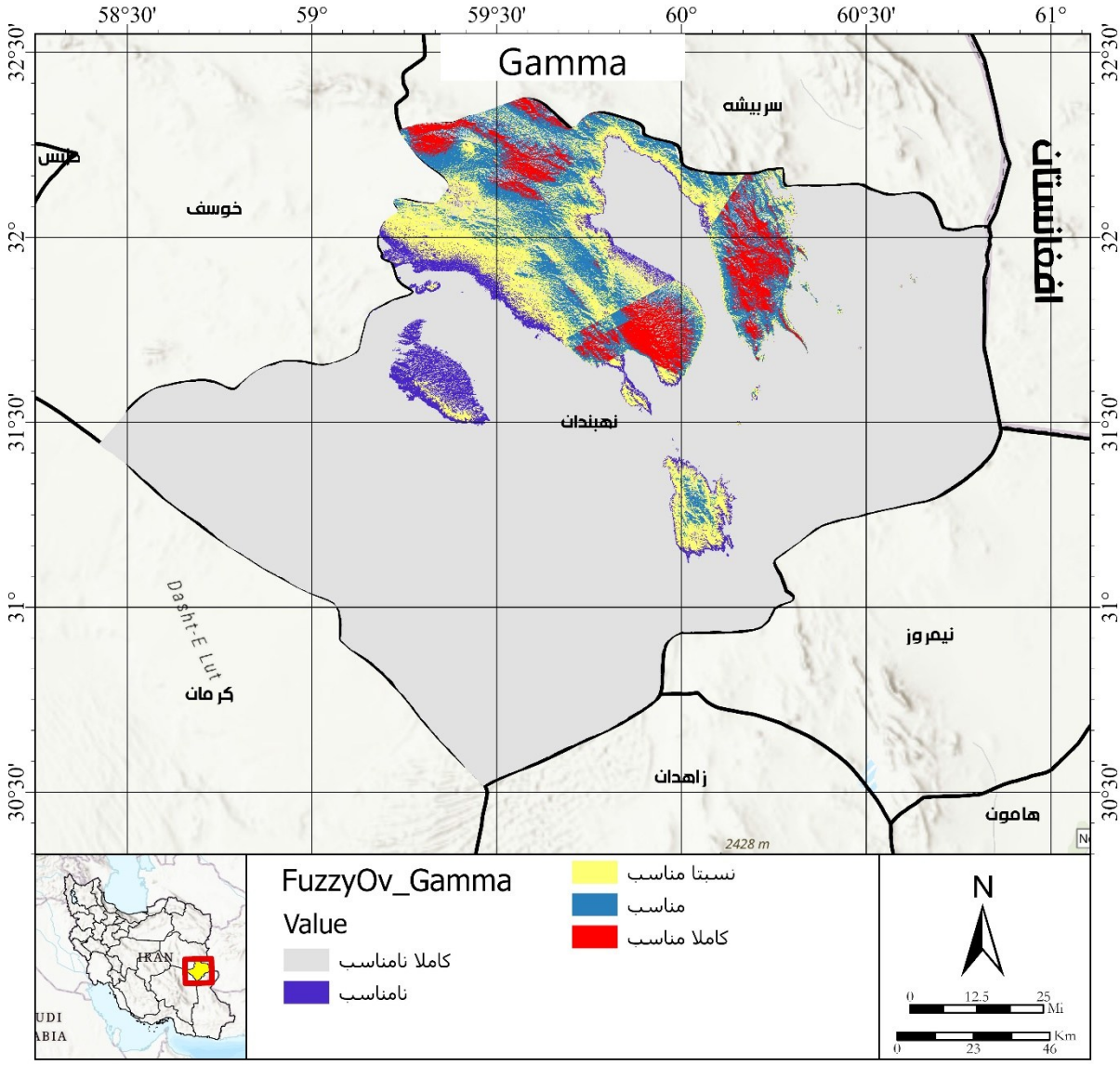
۳.۶. همپوشانی

نقشه نهایی حاصل از عملگر گاما، الگوی روشنی از «جزیره‌های مناسب» در برابر «دشت‌های نامناسب» ترسیم می‌کند. پهنه «کاملاً مناسب» عمدتاً به صورت لکه‌های پیوسته و ناپیوسته در کمربند کوه‌پایه‌ای شمال و برآمدگی‌های مرکزی دیده می‌شود؛ این لکه‌ها دقیقاً در هم‌نشینی سه شرط اصلی ظاهر شده‌اند: (الف) بارش بالاتر و LST پایین‌تر از میانگین شهرستان، (ب) ارتفاع میانی در محدوده بهینه و (ج) بافت لومی–شنی با درصد رس پایین و شوری کم. الگوی جهتی در این پهنه‌ها غالباً جنوب‌شرقی تا جنوب‌غربی است که دریافت تابش را تضمین می‌کند. تجربه میدانی و ادبیات (باقری و همکاران، ۱۳۹۱؛ سعادت‌فر و همکاران، ۱۳۹۷) نشان می‌دهد این شرایط نه‌تنها استقرار را ممکن می‌کند، بلکه کیفیت و کمیت شیره را نیز بهبود می‌بخشد. از نظر فضایی، این جزایر در امتداد پشته‌های مشرف به حد فاصل نهبندان–سر بیشه، بر فراز رگه‌های سنگی شرق و در چند نقطه برآمده میانی واقع‌اند. اگرچه مساحت آنها نسبت به کل شهرستان کوچک است، اما به دلیل تراکم عوامل مثبت، بهترین گزینه برای ایجاد «کانون‌های مادری» و توسعه تدریجی به‌شمار می‌روند.

کلاس «مناسب» به‌صورت کمربندی وسیع‌تر پیرامون جزایر «کاملاً مناسب» پخش است و در بخش‌هایی از شرق، جنوب‌شرق و مرکز نیز، هرجا که شوری کنترل شده، ظاهر می‌شود. در این کلاس معمولاً یکی از مؤلفه‌ها (مثلاً بارندگی یا دما) از حد ایده‌آل کمی پایین‌تر است، اما بافت خاک و جهت شیب نقص را جبران کرده است. از دید برنامه‌ریزی، این پهنه‌ها بهترین هدف برای ورود سریع به تولید هستند؛ نیاز مدیریتی‌شان بیشتر تغذیه پایه و کنترل چرای نابهنگام است تا اقدامات سنگین عمرانی.

کلاس «نسبتاً مناسب/ متوسط» عمدتاً در دشت‌های میانی و حواشی جنوبی دیده می‌شود. در اینجا یا دما بالا و LST زیاد است، یا بافت خیلی شنی/رسی و یا EC نسبتاً بالا؛ اما یک یا دو مؤلفه اصلاح‌کننده (مثلاً شیب مناسب یا ماده آلی پایین) اجازه نمی‌دهند امتیاز به صفر برسد. این پهنه‌ها اهداف میان‌مدت‌اند: با اقدامات کم‌هزینه مثل ایجاد شیارهای آبگیر، مالچ‌پاشی موضعی، و انتخاب ریزمکان‌های آفتاب‌گیر، می‌توان شانسی برای استقرار ایجاد کرد، ولی ریسک شکست در سال‌های خشک‌تر پابرجاست.

کلاس «نامناسب» پهنه غالب جنوب و جنوب‌غرب را در بر می‌گیرد؛ جایی که سه عامل هم‌زمان علیه زیست‌پذیری عمل می‌کنند: بارندگی حداقلی، LST بالا و یا شوری/ قلیاییت بیشتر. حتی اگر بافت خاک در بخش‌هایی مطلوب باشد، اقلیمِ داغ و خشک اجازه جهش به کلاس‌های بالاتر را نمی‌دهد. نتیجتاً این اراضی باید از دستور کار توسعه آنغوزه خارج شوند یا تنها به عنوان گذرگاه‌های طبیعی و کریدورهای حفاظتی در نظر گرفته شوند.

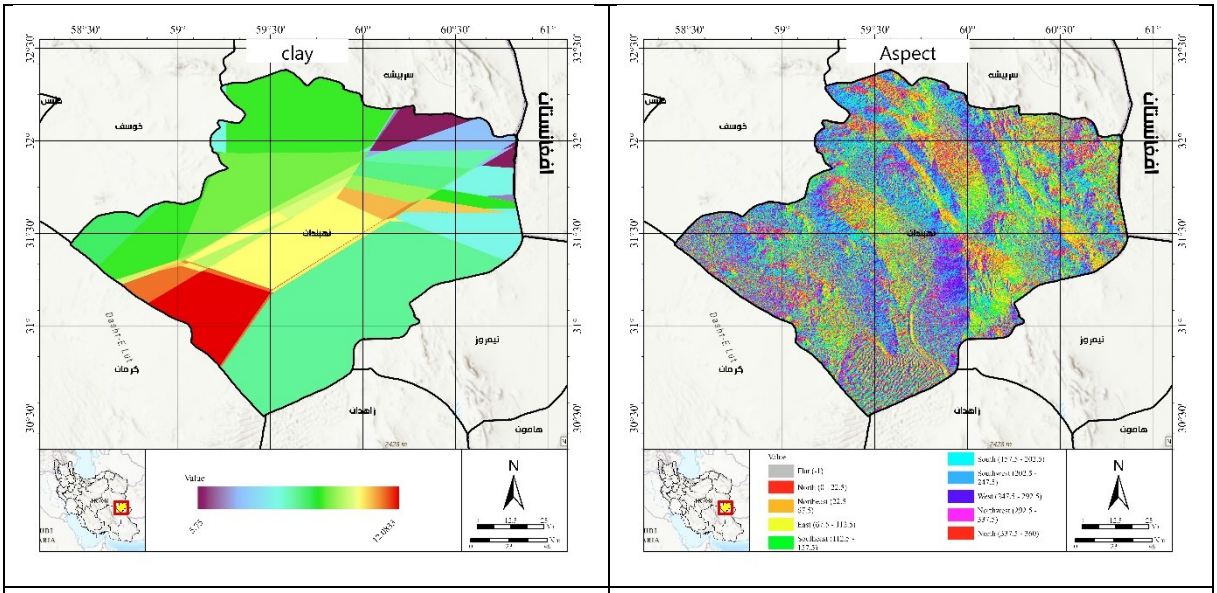


شکل ۲. نقشه همپوشانی

برآیند مدل نشان می‌دهد که در نهبندان، «آب و ارتفاع» ستون‌های اصلی زیست‌پذیری آنغوزه‌اند و «بافت و شیمی خاک» نقش دروازه‌بان را بازی می‌کنند. هرجا بارش و LST در سمت درستِ طیف قرار گرفته‌اند، حتی با غذای خاک متوسط، کلاس‌های «مناسب» و «کاملاً مناسب» شکل گرفته است؛ هرجا اقلیم اجازه نداده، وفور پتاس یا فسفر نیز نتوانسته قفل را باز کند. در میان متغیرهای خاکی، بافت لومی–شنی با رس پایین و سیلت میانه، به‌اضافه شوری پایین، تصویر غالب عرصه‌های مستعد را ساخته است. از نظر توپوگرافی، شیب‌های متوسط و جهت‌های آفتاب‌گیر فصل مشترک بیشتر لکه‌های مناسب بوده‌اند. این تصویر کلی با شواهد بوم‌شناسی آنغوزه در ایران هم‌خوان است: گیاهی کم‌توقع و نورپسند که در مناطق خشک– نیمه‌خشک، به شرط تهویهٔ خوب خاک و نبود شوری، می‌تواند بازده اقتصادی معنادار ایجاد کند (قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶؛ شاه، ۲۰۰۴).

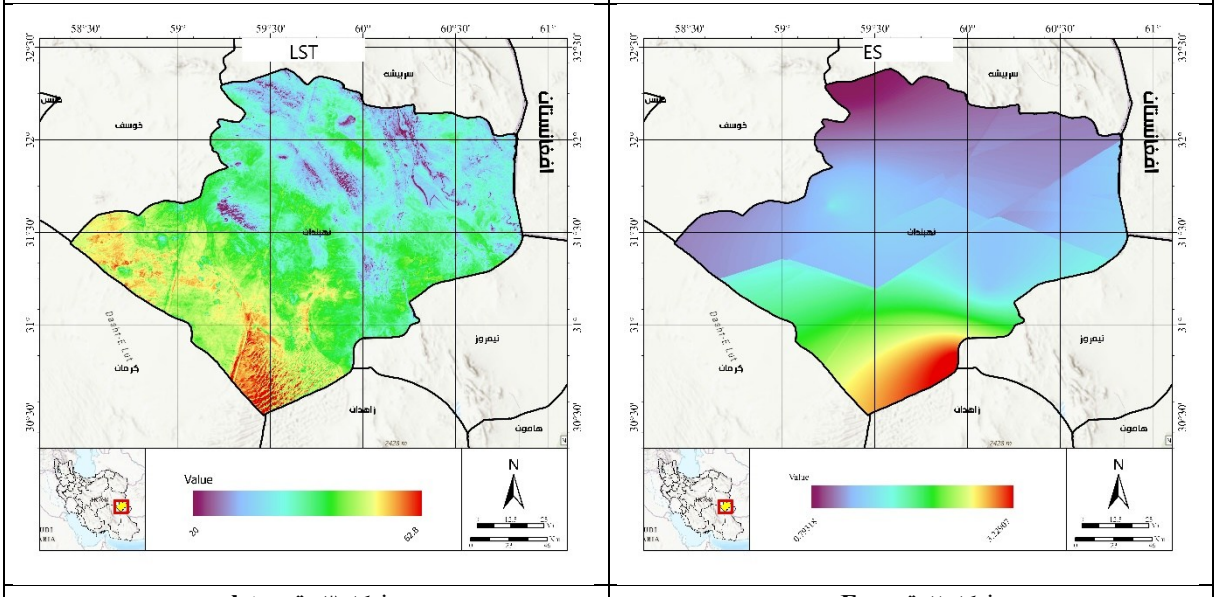
به لحاظ کاربردی، این تحلیل مبنای کافی برای تصمیم‌گیری مرحله‌بندی‌شده فراهم می‌آورد: شروع از جزایر «کاملاً مناسب»، گسترش به کمربند «مناسب» با اقدامات کم‌هزینه، و انجام آزمایش‌های خُرد در نقاط مرزیِ «متوسط»؛ هم‌زمان، پرهیز از سرمایه‌گذاری در دشت‌های

«نامناسب». چنین رویکردی با هدف‌گذاری ملیِ کاهش برداشت از رویشگاه‌های طبیعی و توسعه کشت گیاهان دارویی (سند ملی ۱۳۹۲؛ وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۹) همسو است و می‌تواند علاوه بر حفظ ذخایر، ارزش افزوده محلی ایجاد کند. در نهایت، پیشنهاد می‌شود در فاز دوم پروژه، ارزیابی پساجرایی (ex-post) با شاخص‌های بوم‌سنجی ساده (نرخ سبزشدن، بقا در سال اول، و عملکرد شیره در سال سوم) روی ریزمکان‌های منتخب انجام شود تا تابع‌های عضویت و وزن‌ها با داده‌های واقعی استان سازگارتر گردد و نسخه بومیِ مدل تناسب آنغوزه برای نهبندان تثبیت شود.



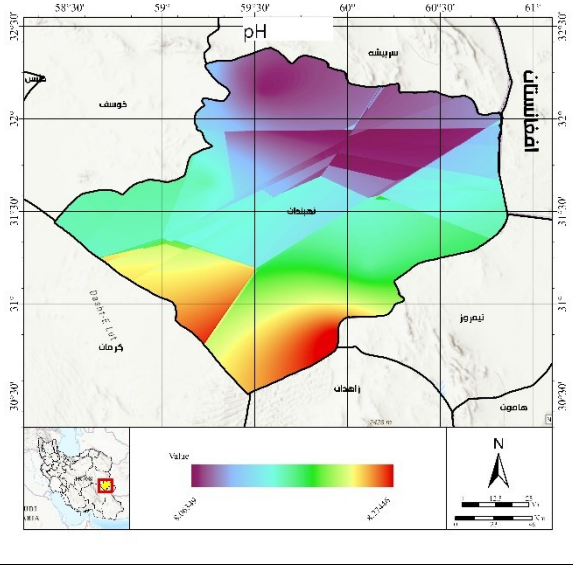
شکل ۳. نقشه جهت شیب

شکل ۴. نقشه clay

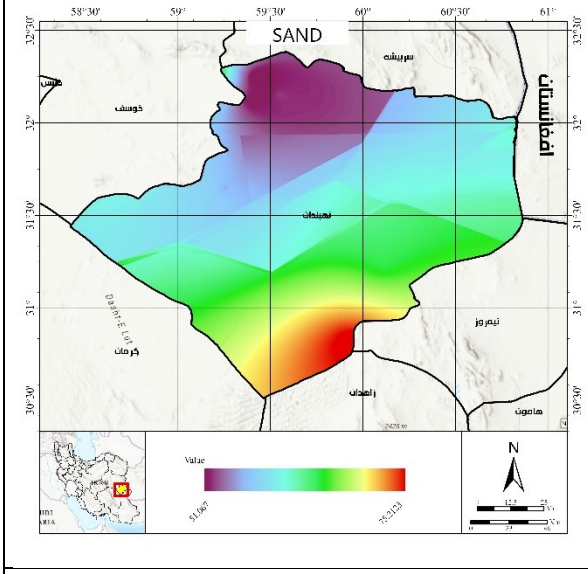


شکل ۲.نقشه Ec

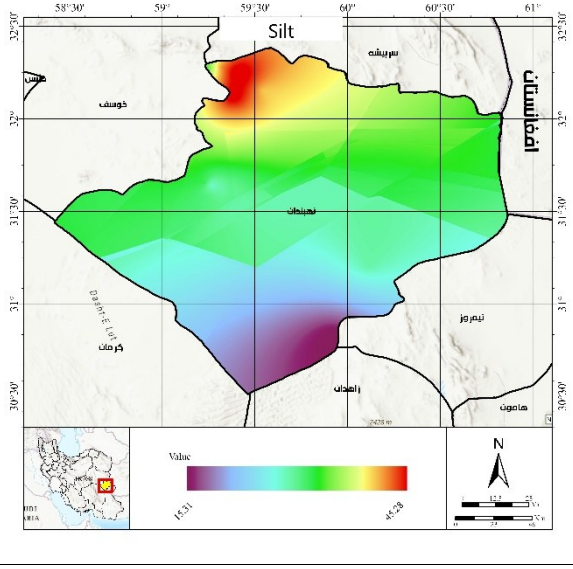
شکل ۳. نقشه lst



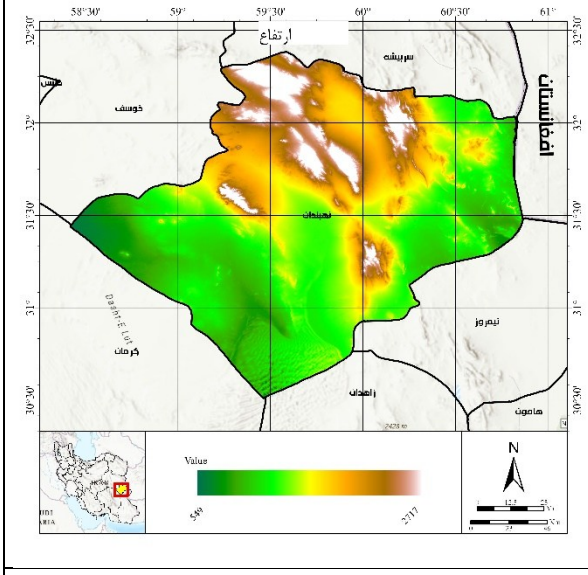
شکل ۷. نقشه PH



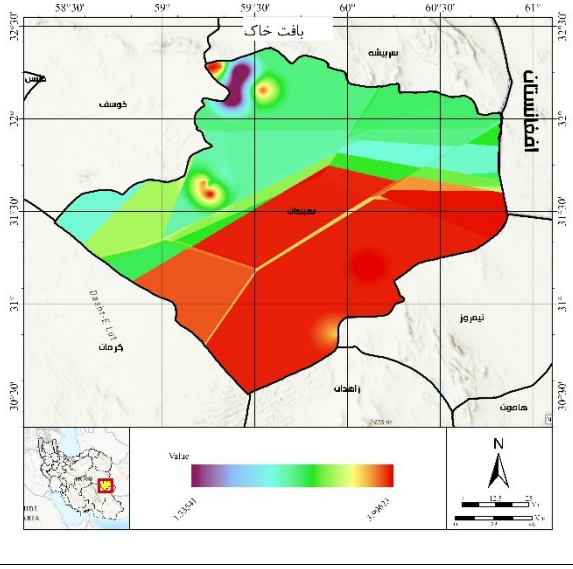
شکل ۸. نقشه دادنه بندی خاک

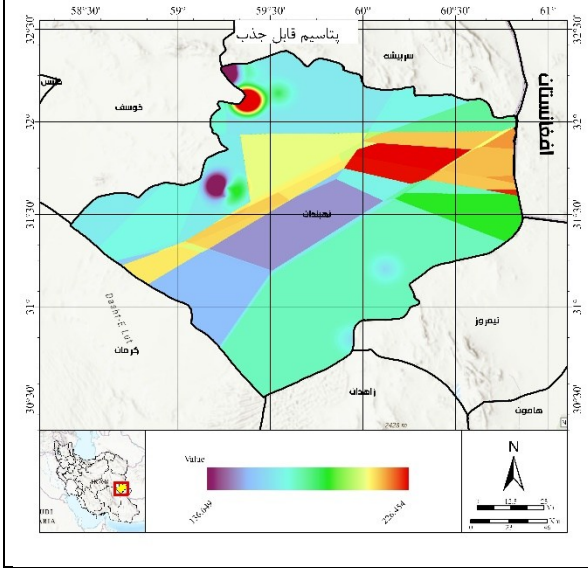


شکل ۹. نقشه silt

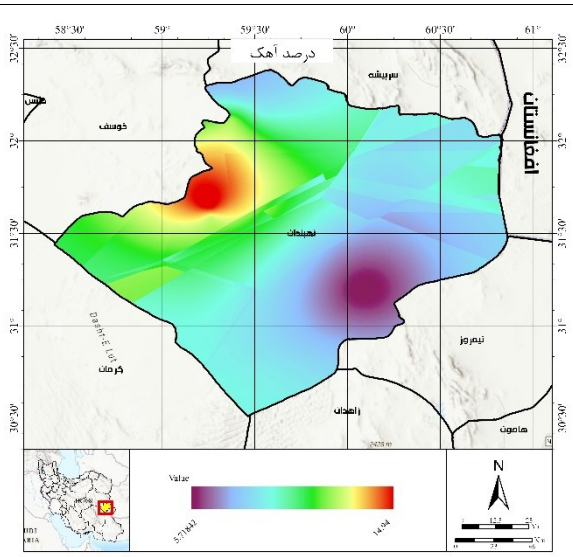


شکل ۱۰. نقشه ارتفاع

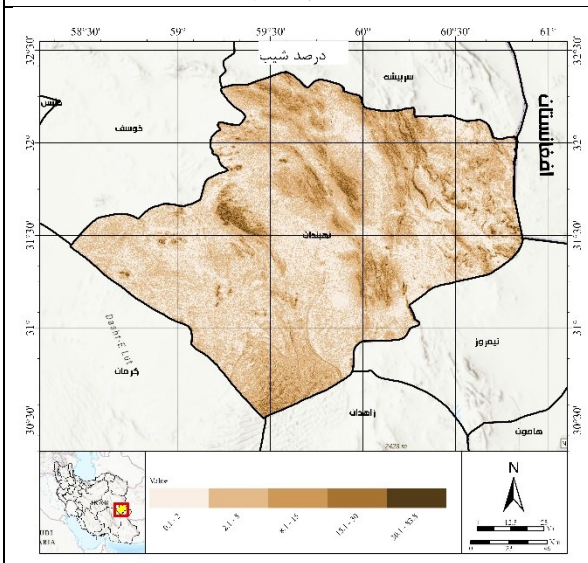




شکل ۱۱. نقشه بافت خاک

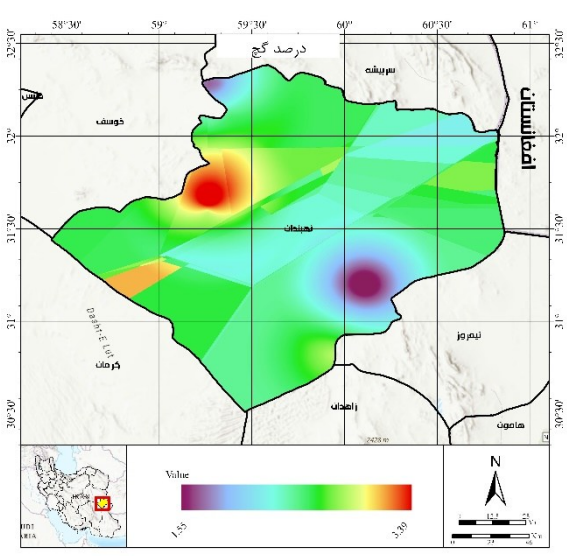


شکل ۱۲. نقشه پتاسیم قابل جذب

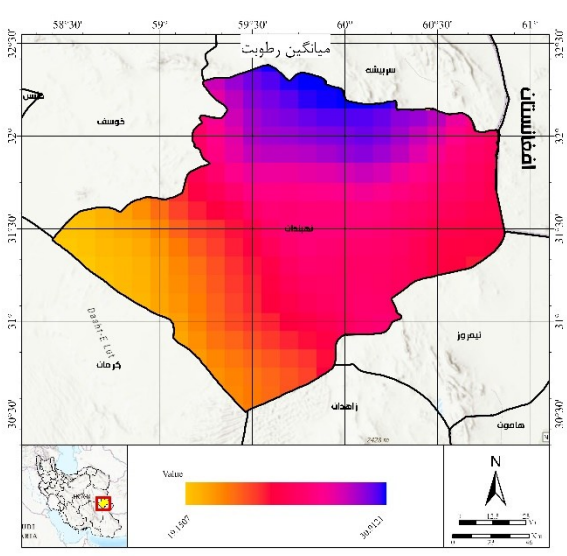


شکل ۱۳. نقشه درصد آهک

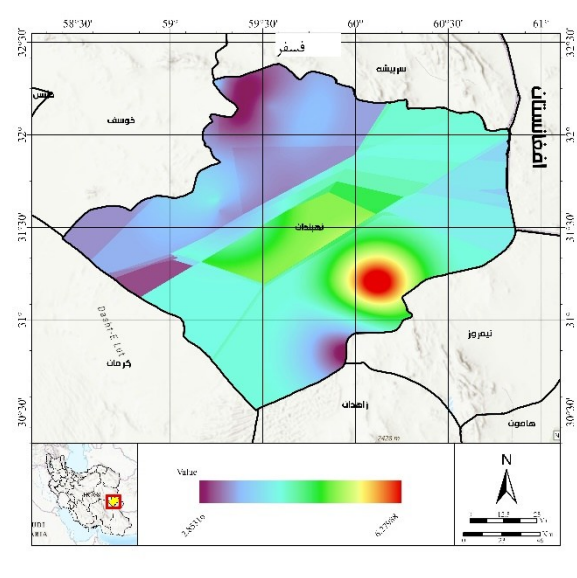
شکل ۱۴. نقشه درصد شیب



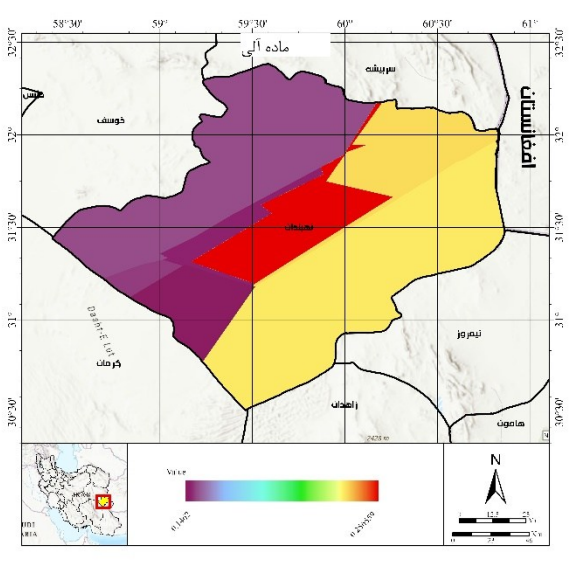
شکل ۱۵. نقشه درصد گچ



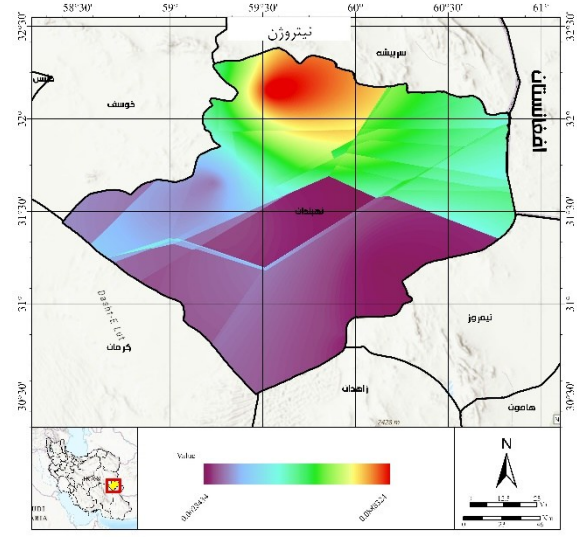
شکل ۱۶. نقشه میانگین رطوبت



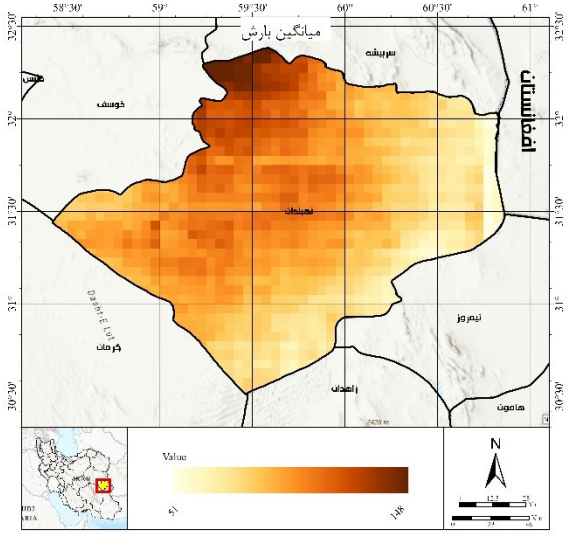
شکل ۱۷. نقشه فسفر



شکل ۱۸. نقشه ماده آلی



شکل ۱۹.: نقشه نیتروژن



شکل ۲۰. نقشه میانگین بارش

۴. بحث

این پژوهش با هدف تعیین پهنه‌های اکولوژیکی مناسب برای استقرار و توسعه رویشگاه آنغوزه در شهرستان نهبندان، با اتکا به ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، تصویری منسجم از سازوکارهای حاکم بر «زیست‌پذیری» این گونه در اقلیم فراخشک شرق ایران ارائه کرد. مهم‌ترین یافته در سطح کلان، تقدم «بارندگی» با وزن نسبی ۰.۲۱۹ در ساختار وزنی و به‌دنبال آن «ارتفاع» (۰.۱۴۶) و «دما (0.120) «LST/است؛ نتیجه‌ای که هم با منطق بوم‌اقلیمی منطقه همخوان و هم با گزارش‌های مستقل چترود کرمان هم‌راستا است (سعادت‌فر و همکاران، ۱۳۹۷). نرخ ناسازگاری ۰.۰۵ نشان می‌دهد ماتریس قضاوت‌های خبرگان از انسجام درونی کافی برخوردار بوده و می‌توان به اعتبار استنباط‌های مبتنی بر این وزن‌ها اتکا کرد. در کنار این، بافت خاک و شاخص‌های رطوبتی–توپوگرافی سهمی درجه دوم اما معنادار در شکل‌دهی الگوی فضایی تناسب داشته‌اند و عناصر شیمیایی خاک بیشتر نقش تعدیل‌کننده ایفا کرده‌اند. برآیند تلفیق فازی–وزندار لایه‌های نرمال‌شده با عملگر گاما به نقشه‌ای انجامید که هسته‌های «خیلی مناسب/ مناسب» را عمدتاً در کمربندهای کوه‌پایه‌ای شمال–مرکز و برآمدگی‌های شرق نشان می‌دهد؛ در حالی‌که دشت‌های جنوب و جنوب‌غرب غالباً در طبقات «متوسط/ ضعیف» قرار گرفته‌اند. غلبه بارش بر هرم تصمیم‌گیری از چند منظر قابل دفاع است. در اقلیم‌های فراخشک که تراز تبخیر–تعریق بالقوه همواره بر بارش پیشی می‌گیرد، هر میلی‌متر بارندگی مؤثر عملاً «سوخت» اکولوژیک سیستم است و طول فصل سبزینگی، بقا و امکان تجمع رزین را تعیین می‌کند.

در نواحی ریخت‌زمین‌ساختی نهبندان، سامانه‌های بارش‌گیر عمدتاً به یال‌ها و قلل محدود می‌شوند و واگرایی آن‌ها به دشت‌های بادرفتی جنوب–باختر کم‌اثر است؛ بنابراین گرادیان مکانی بارش هم قوی و هم از نظر کارکردی تفکیک‌کننده کلاس‌های تناسب است. وزن بالای بارش در این پژوهش با یافته‌های چترود (سعادت‌فر و همکاران، ۱۳۹۷) هم‌خوان است و نشان می‌دهد «آب سبز» در زیستگاه‌های طبیعی آنغوزه، فارغ از تفاوت‌های زمین‌شناسی و کاربری، عامل مشترک محدودکننده است.

جایگاه دوم ارتفاع و سوم دما بازتاب وابستگی متقابل این دو متغیر و نقش مشترک آن‌ها در تنظیم «پنجره حرارتی–رطوبتی» رویش است. پنجره بهینه استخراج‌شده برای نهبندان با بیشینه شیره‌دهی گزارش‌شده در حدود ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر در خراسان جنوبی (باقری و همکاران، ۱۳۹۱) سازگار است و به‌طور ضمنی تأیید می‌کند که شب‌های خنک‌تر، نوسان حرارتی ملایم‌تر و تأخیر در وقوع تنش گرمایی پیش‌رس برای تجمع متابولیت‌های رزینی سودمندند. این امر توضیح می‌دهد چرا ارتفاعات بسیار پایین، با وجود خاک‌های سبک و زهکش‌دار، در طبقات بالای تناسب ظاهر نمی‌شوند و چرا ارتفاعات بسیار بلند با فصل رشد کوتاه‌تر و خطر سرمای دیررس، از پنجره کارآمد بیرون می‌افتند؛ بنابراین انتخاب تابع عضویت «fuzzy optimum» برای ارتفاع از توجیه اکولوژیک روشن برخوردار است.

ملاحظات ژئومورفولوژیک (شیب و جهت) در تعامل با اقلیم عمل کردند. هرچند وزن شیب در مقایسه با بارش و ارتفاع کمتر است، اما از مسیرهای ثانویه (نفوذ، پایداری خاکدانه‌ها، فرسایش) و به‌ویژه در شیب‌های ۱۵–۳۰ درصدی که با بافت سبک همراه شده‌اند، اثر مثبت داشته است. جهت دامنه با وزن ۰.۰۶۱ نشان داد که جنبه‌های آفتاب‌گیر (جنوب‌شرقی تا جنوب‌غربی) می‌توانند به خشک‌سازی سریع خاک و کاهش ماندآب سطحی کمک کنند؛ امری که در مرحله جوانه‌زنی مفید است، اما اگر با نگهداشت آب کافی همراه نشود، در اواخر فصل می‌تواند به زیان بقا و شیره‌دهی تمام شود. نرمال‌سازی جهت بر پایه «fuzzy exposure» و رطوبت اشباع به‌صورت «fuzzy large» باعث شد این دو شاخص تا حدی نقش «ترازکننده» یکدیگر را بازی کنند و امتیاز نهایی سلول‌هایی را که فقط یکی از این دو مزیت را دارند، تعدیل نمایند.

در بخش خاک، سه‌گانه بافت (شن–سیلت–رس) از مسیر تعادل «نفوذپذیری در برابر نگهداشت» عمل کرد. خاک‌های فوق‌شنی جنوب و جنوب‌شرق به دلیل نگهداشت پایین و احتمال قطع پیوستگی رطوبت در پروفیل، امتیاز محدود گرفتند؛ در مقابل، خاک‌های لومی–شنی مرکزی که به حوالی ۶۰ درصد شن نزدیک‌اند، بیشترین امتیاز را دریافت کردند. سیلت و رس بالا در شمال–شمال‌باختر و برخی لکه‌های جنوبی به‌واسطه خطر قفل‌آبی و تشکیل سله سطحی با تابع «fuzzy small» امتیاز کاهنده یافتند؛ الگویی که با گزارش‌های بومی از مارن‌های گچی کرمان و عملکرد متفاوت شیره‌دهی در خاک‌های ریزدانه هم‌خوان است (پیرمرادی، ۱۳۹۰؛ نصیری بزنجانی و همکاران، ۱۳۹۶).

در شاخص‌های شیمیایی، pHو EC کانون‌های محدودکننده موضعی را آشکار کردند pH .قلیایی بالاتر در جنوب–جنوب‌غرب امتیاز تناسب را کاهش داد؛ موضوعی که با حساسیت شناخته‌شده آنغوزه به قلیاییت بالا هم‌سو است (پیرمرادی، ۱۳۹۰). شوری(EC) ، هرچند وزنی میانی داشت، در کانون‌های تبخیری جنوب‌غرب اثر «سریع و تیز» گذاشت؛ بهره‌برداران نیز گزارش می‌کنند که گذر از حدود ۲–۳ دسی‌زیمنس، رشد و شیره‌دهی را به‌سرعت محدود می‌کند. آهک و گچ به‌عنوان دو نمایه زمین‌شیمیایی با وزن‌های پایین، بیشتر در لکه‌های مشخص اثر کاهنده داشته‌اند و در مقیاس چشم‌اندازْ تعیین‌کننده نبوده‌اند. در عناصر غذایی، نیتروژن، پتاسیم و فسفر با الگوی ناهمگن ظاهر شدند؛ مزیت این شاخص‌ها آن است که «قابل مدیریت»اند و می‌توانند در پهنه‌های مرزی «متوسط» نقش ارتقادهنده ایفا کنند، در حالی‌که اقلیم و ارتفاع عمدتاً «غیرقابل‌دستکاری» هستند.

هم‌نشانی یافته‌های این پژوهش با ادبیات موضوع چند لایه دارد. نخست، تقدم بارش و نقش ارتفاع با نتایج چترود (سعادت‌فر و همکاران، ۱۳۹۷) همسان است، با این تفاوت که در نهبندان به‌سبب حضور سازندهای تبخیری و ریگزارهای توسعه‌یافته، دو محدودیت متفاوت (شوری موضعی و فوق‌شنی بودن) هم‌زمان مشاهده شد؛ این تمایز اهمیت رویکرد مکانی را برجسته می‌کند. دوم، پنجره ارتفاعی استخراج‌شده با بیشینه شیره‌دهی گزارش‌شده در خراسان جنوبی (باقری و همکاران، ۱۳۹۱) سازگار است و به‌طور ضمنی نقش دمای شبانه و چرخه آب–انرژی در تجمع رزین را تأیید می‌کند. سوم، توصیه بافت لومی–شنی با مطالعات جنوب‌شرق کشور که خاک‌های لوم–شنی با ماده آلی پایین و هدایت الکتریکی کنترل‌شده را مناسب‌تر می‌دانند، هم‌راستا است. چهارم، وزن میانی–کم عناصر غذایی با این واقعیت سازگار است که در اقلیم‌های فراخشک، محدودیت اصلی اغلب آب و دما است و تغذیه معدنی بیش از آن‌که «سقف‌گذار» باشد، نقش «اصلاح‌گر» دارد.

از نظر کاربردی، این تحلیل مبنایی کافی برای تصمیم‌گیری مرحله‌بندی‌شده فراهم می‌آورد: شروع از جزایر «خیلی مناسب»، گسترش به کمربند «مناسب» با اقدامات کم‌هزینه، و انجام آزمایش‌های خرد در نقاط مرزی «متوسط»؛ هم‌زمان، پرهیز از سرمایه‌گذاری در دشت‌های «نامناسب». در پهنه‌های مرزی، مداخلات باید به‌صورت هدفمند و متناسب با عامل محدودکننده طراحی شود؛ برای مثال در شرقِ فوق‌شنی، ریزآبگیرهای هلالی، مالچ آلی و کشت نواری با گونه‌های پوششی یک‌ساله می‌تواند نگهداشت آب و N/OM را ارتقا دهد، در جنوب‌غرب شور–قلیایی، آبشویی زمستانه هدفمند و افزودن ماده آلی برای تعدیل pH و اجتناب از لکه‌های پرگچ توصیه می‌شود، و در شمال‌باختری

ریزدانه، شخم حداقلی، شکستن سله سطحی و انتخاب دامنه‌های آفتاب‌گیر (SE–S–SW) می‌تواند بخشی از محدودیت را جبران کند. اتصال این بسته مدیریتی با ابزارهای PRA و تحلیل زنجیره ارزش، امکان اولویت‌بندی روستاهای مجاور هسته‌ها و جانمایی حلقه‌های «جمع‌آوری–درجه‌بندی–بسته‌بندی/فرآوری» در شعاع دسترسی بهینه را فراهم می‌کند؛ مسیری که مستقیم به کاهش خام‌فروشی و افزایش ارزش افزوده محلی منتهی می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸؛ قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶).

در عین حال، پژوهش حاضر محدودیت‌هایی دارد که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد. نخست، اقلیم به‌صورت میانگین ۱۵ساله وارد مدل شده است؛ گرچه این کار برای حذف نوسانات کوتاه‌مدت ضروری است، اما شاخص‌های فصلی–ماهانه (به‌ویژه بارش‌های دیرهنگام زمستان و گرماهای زودرس بهاری) می‌توانند مرز کلاس‌ها را در حاشیه پنجره ارتفاعی تعدیل کنند. دوم، چگالی نقاط نمونه‌برداری خاک برای نقشه‌های ناحیه‌ای کافی است، ولی در لکه‌های ناهمگن (سازندهای تبخیری و آبرفت‌های جوان)، افزایش تعداد نقاط یا بهره‌گیری از طیف‌سنجی درجا می‌تواند کیفیت درون‌یابی را بهبود بخشد. سوم، توابع عضویت فازی با تکیه بر آستانه‌های استخراج‌شده از ادبیات و شواهد محلی تعریف شده‌اند؛ تحلیل عدم‌قطعیت و سنجش حساسیت ساختاری (±۱۰ درصد تغییر وزن‌ها و آستانه‌ها) اگرچه نشانه‌هایی از پایداری نشان داد، اما در نسخه‌های آینده باید با شاخص‌های کمی مانند پهنای بازه اطمینان مساحت هر کلاس تکمیل شود. چهارم، مدل حاضر بر پایه عملگر گامای فازی از نوع تصمیم جبرانی است؛ یعنی برتری یک شاخص می‌تواند کمبود دیگری را تا حدی جبران کند. این منطق با تصمیم‌گیری فضایی برای توسعه محصول سازگار است، اما برای پرسش‌های محافظه‌کارانه‌تر (مثلاً حفاظت از هسته‌های مادری) اجرای سناریوهای غیرجبرانی یا مبتنی بر آستانه ضروری است. پنجم، صحت‌سنجی موجود عمدتاً بر همپوشانی مکانی نقاط حضور با کلاس‌های تناسب متکی است و هنوز داده‌های کمی عملکرد شیره در مقیاس شهرستان در دسترس نیست؛ تکمیل این حلقه می‌تواند قدرت تبیین‌گری مدل برای تصمیم‌های اقتصادی را افزایش دهد.

برآیند این بحث نشان می‌دهد اسکلت مکانی تناسب آنغوزه در نهبندان با سه ستون «بارش–ارتفاع–دما» برپا می‌شود و با «بافت–EC/pH–جهت» تراش می‌خورد. وقتی این اسکلت به زبان «عامل محدودکننده» ترجمه شود، از سطح توصیف فراتر می‌رود و به «نسخه عمل» بدل می‌شود: برای هر پهنه مشخص می‌شود کدام عامل سقف تناسب را تعیین می‌کند و چه مداخله‌ای می‌تواند آن را ارتقا دهد. هسته‌های کوه‌پایه‌ای شمال–مرکز و برآمدگی‌های شرق، که هم‌زمان از آب بیشتر، ارتفاع بهینه، حرارت ملایم و بافت لومی–شنی بهره‌مندند، نواحی برد–برد برای حفاظت و تولیدند؛ در مقابل، دشت‌های جنوب و جنوب‌غرب تنها با بسته‌های مداخله دقیق و پرهزینه شانس ارتقا دارند و در بسیاری از موارد بهتر است به‌عنوان کریدورهای حفاظتی در نظر گرفته شوند.

۵. نتیجه گیری

این پژوهش با هدف ترسیم نقشه تناسب اکولوژیکی آنغوزه در شهرستان نهبندان و فراهم‌کردن مبنایی عملی برای تصمیم‌گیری مکانی، چارچوبی یکپارچه مبتنی برGIS ، AHPو عملگر گامای فازی ارائه کرد. داده‌های اقلیمی، فیزیوگرافی و خاک‌شناسی در قالب ژئودیتابیسی منسجم گردآوری، با توابع عضویت فازی متناسب با نیازهای اکولوژیک گونه به مقیاس ۰ تا ۱ نرمال و در نهایت با مدل گامای فازی تلفیق شدند. وزن‌دهی معیارها از مقایسات زوجی ۱۵ خبره و کنترل سازگاری (CR=0.05) تبعیت کرد که اعتبار درونی ماتریس قضاوت‌ها را تأیید می‌کند. برونداد نقشه تناسب، همراه با تحلیل «عامل محدودکننده»، امکان داد هر پهنه بر حسب مهم‌ترین قید اکولوژیک خود طبقه‌بندی و نسخه مدیریتی متناسب دریافت کند؛ بدین معنا که نتیجه نه‌فقط یک «نقشه»، بلکه یک «نقشه عمل» است.

یافته کلیدی آن است که «بارندگی» با وزن نسبی ۰.۲۱۹ مؤثرترین مؤلفه در تبیین الگوی زیست‌پذیری آنغوزه در نهبندان است و پس از آن «ارتفاع» (۰.۱۴۶) و «دما (0.120) «LST/قرار دارند. این هرم وزنی با منطق بوم‌اقلیمی منطقه همخوان است: در اقلیم فراخشک، هر میلی‌متر بارش مؤثر فصل سبزینگی و بقا را تعیین می‌کند؛ ارتفاع از مسیر تعدیل دمایی و چرخه رطوبتی عمل می‌کند؛ و دما سقف تحمل فیزیولوژیک را می‌گذارد. در سطح خاک، سه‌گانه بافت (شن ۰.۰۷۳، سیلت ۰.۰۴۰ و رس ۰.۰۲۲) در مجموع نقش میان‌مرتبه‌ای ایفا کرد و نشان داد بافت‌های لومی–شنی نزدیک به ۶۰ درصد شن، مطلوب‌ترین تعادل تهویه–نفوذ–نگهداشت را برای استقرار بوته فراهم می‌کنند. «رطوبت اشباع» (۰.۰۶۶) و «جهت شیب» (۰.۰۶۱) بیانگر آن‌اند که ظرفیت نگهداشت آب و تابش دریافتی دامنه‌ها، به‌ویژه در فاز جوانه‌زنی، می‌توانند طبقه تناسب را جابه‌جا کنند. در شاخص‌های شیمیایی، pH (0.059)و شوری (EC=0.045) کانون‌های محدودکننده موضعی را آشکار کردند؛ نیتروژن (۰.۰۳۴)، پتاسیم (۰.۰۱۹)، آهک (۰.۰۱۱)، فسفر (۰.۰۱۰) و گچ (۰.۰۰۷) عمدتاً نقش اصلاحی دارند و با مدیریت قابل ترمیم‌اند.

از نظر فضایی، هسته‌های «خیلی مناسب/ مناسب» عمدتاً در کمربندهای کوه‌پایه‌ای شمال–مرکز و برآمدگی‌های شرق متمرکزند؛ دشت‌های جنوب و جنوب‌غرب، به دلیل هم‌زمانی کم‌بارشی، گرمای بالا و در برخی نقاط بافت فوق‌شنی یا شوری، غالباً «متوسط/ ضعیف» ارزیابی شدند.

این الگو با شواهد میدانی و ادبیات بوم‌شناسی آنغوزه هم‌خوان است و نشان می‌دهد که برای کاهش ریسک و افزایش بازده، باید توسعه کشت در وهله نخست بر این هسته‌های کوه‌پایه‌ای تمرکز یابد.

سهم نظری و روشی این کار در سه نکته خلاصه می‌شود. نخست، تلفیق استاندارد توابع عضویت فازی با عملگر گامای فازی و وزن‌های AHP، چارچوبی بازتولیدپذیر ارائه کرد که قابلیت کالیبراسیون در سامانه‌های مشابه را دارد. دوم، «خوانش عامل محدودکننده» از نقشه تناسب، لایه تصمیم را از سطح توصیف به سطح توصیه عملی ارتقا داد؛ اکنون می‌توان برای هر واحد نقشه مشخص کرد چه مداخله‌ای (افزایش آب سبز، تعدیل شوری/قلیاییت، بهینه‌سازی بافت و ...) بیشترین بازده را دارد. سوم، پیوند نتایج زیست‌اقلیمی با منطق زنجیره ارزش، مسیر عبور از خام‌فروشی به خلق ارزش افزوده محلی را روشن می‌سازد و تصمیم‌گیری‌های مکانی را به اقتصاد روستایی متصل می‌کند.

پیامدهای مدیریتی مستقیم از نتایج قابل استخراج است. پیشنهاد می‌شود قطب‌های کوه‌پایه‌ای شمال–مرکز و برآمدگی‌های شرق به‌عنوان «ناحیه‌های پیشتاز» برای توسعه اهلی‌سازی و بهره‌برداری هوشمند انتخاب شوند؛ تمرکز خدمات ترویجی (تقویم کاشت، کنترل تیغ‌زنی، حفاظت خاک) در این قطب‌ها نسبت منفعت به هزینه را بهینه می‌کند. در پهنه‌های «مرزی/قابل ارتقا»، نسخه‌های هدفمند لازم است: در شرق فوق‌شنی، ریزآبگیرهای هلالی، مالچ آلی و کشت نواری با گونه‌های پوششی یک‌ساله برای ارتقای نگهداشت آب وOM/N ؛ در جنوب‌غرب شور و قلیایی، آبشویی زمستانه، افزودن مواد آلی و اجتناب از لکه‌های پرگچ؛ در شمال‌باختری ریزدانه، شخم حداقلی، شکستن سله سطحی و انتخاب دامنه‌های آفتاب‌گیر .(SE–S–SW) هم‌زمان، با رویکرد PRA می‌توان روستاهای مجاور هسته‌های «خیلی مناسب/ مناسب» را برای استقرار حلقه‌های «جمع‌آوری–درجه‌بندی–بسته‌بندی/فرآوری» اولویت‌بندی و پیوند تولید تا بازار را کوتاه کرد.

این مطالعه البته محدودیت‌هایی دارد که مسیر بهبود را نیز نشان می‌دهند. اقلیم به‌صورت میانگین ۱۵ساله وارد مدل شد؛ افزوده‌شدن شاخص‌های فصلی–ماهانه (بارش‌های دی–اسفند، گرماهای زودرس بهاری) می‌تواند مرز طبقات را دقیق‌تر کند. چگالی نمونه‌برداری خاک برای مقیاس ناحیه‌ای کافی بود، اما در لکه‌های ناهمگن تبخیری و آبرفت‌های جوان، افزایش تراکم نقاط یا بهره‌گیری از سنجش طیفی درجا کیفیت درون‌یابی را ارتقا خواهد داد. منطق گامای فازی ذاتاً جبرانی است؛ برای کاربردهای محافظه‌کارانه‌تر (مثلاً حفاظت از هسته‌های مادری) آزمون سناریوهای غیرجبرانی یا مبتنی بر آستانه ضروری است. همچنین، لازم است صحت‌سنجی کمّی با داده‌های حضور–غیاب و به‌ویژه عملکرد/کیفیت شیره انجام و کارآیی مدل با الگوریتم‌های داده‌پایه (مانند MaxEnt یا جنگل تصادفی) مقایسه شود. ارائه «نقشه اطمینان» در کنار نقشه تناسب، برای تصمیم‌گیری ریسک‌محور در آینده حیاتی است.

در جمع‌بندی نهایی، چارچوب ارائه‌شده نشان داد که اسکلت مکانی تناسب آنغوزه در نهبندان با سه ستون «بارش–ارتفاع–دما» برپا می‌شود و با «بافت–شیمی خاک–جهت» تراش می‌خورد. ترجمه این اسکلت به «نقشه عمل» دو پیام روشن دارد: (۱) تمرکز سرمایه و خدمات در قطب‌های «خیلی مناسب/ مناسب» برای بیشینه‌سازی بازده زیست‌محیطی و اقتصادی؛ و (۲) ارتقای پهنه‌های «مرزی» با مداخلات دقیقِ متناسب با عامل محدودکننده. از منظر سیاستی، پیوند نقشه‌های تناسب با برنامه ملی گیاهان دارویی و مکان‌یابی واحدهای فرآوری در مقیاس شهرستان، می‌تواند هم‌زمان به حفاظت منابع، افزایش درآمد محلی و کاهش خام‌فروشی بینجامد. بدین‌ترتیب، نتیجه این پژوهش صرفاً یک برآورد مکانی نیست، بلکه نقشه راهی اجرایی برای توسعه هوشمند و پایدار آنغوزه در نهبندان و الگویی قابل تعمیم برای استان‌های هم‌اقلیم است.

۶. منابع

۱- اردکانی، م .ر .۱۳۸۰ . اکولوژی .انتشارات دانشگاه تهران .۳۲۵ صفحه.

۲- امیدبیگی، ر. و پیرمرادی، م. ر.، 1385. بررسی تأثیرات قطر ریشه و دفعات تیغ زنی بر میزان شیره‌دهی گیاه دارویی- مرتعی آنغوزه. مجله منابع طبیعی ایران. (۱)۵۹: ۲۶۹ – ۲۶۱.

۳- باقری, ر.، محمودی، ع. ع.، چکشی، ب. و پورعباس، م. ح.، ۱۳۹۱، بررسی اثر ارتفاع بر محصول دهی آنغوزه (مطالعه موردی بشرویه، خراسان جنوبی. (اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران).

۴- بوستانی، م. ط.، بررسی میزان متوسط شیره‌دهی هر بوته آنغوزه، همایش ملی توسعه پایدار گیاهان دارویی. مشهد، ۱۳۸۴.

۵- بیابانی، ع.، س. آهن‌ساز، ب. کامکار و ا. رومانی. ۱۳۹۶. ارزیابی تناسب اراضی حوزه گرگان رود (استان گلستان) جهت کشت گندم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله یافته‌های تحقیقاتی در بهبود تولیدات گیاهان زراعی. ۳(۱): ۱۹–۱.

۶- پاکزاد، م. و ع. ر. اسلامی. ۱۳۹۶. مکان‌یابی اراضی مستعد جهت توسعه کاشت گونهٔ کهور ایرانی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رحمت‌آباد استان کرمان). مجله سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۸(۲): ۶۱–۴۸.

۷- پوشیده‌رو، م. و احمدی‌زاده، س. س. ر.، ۱۳۹۶. ارزیابی رویشگاه گیاه دارویی آنغوزه در استان خراسان جنوبی با استفاده از روش مدلسازی حداکثر آنتروپی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

۸- پیرمرادی، م .ر، ۱۳۹۰. ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و ژنتیکی گیاه دارویی آنغوزه (Ferula assa-foetida L.) در استان کرمان، پایان نامه دکتری، رشته علوم باغبانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۵۳ صفحه.

۹- تفقدی سبحانی، م.، سعید افخم الشعرا، م. ر.، قلاسی مود، ش. و یاری. ر.، ۱۳۹۷. بررسی آت اکولوژی گیاه دارویی آنغوزه (Ferula assa-foetida L) (مطالعه موردی خراسان جنوبی – مراتع غری شهرستان بشرویه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

۱۰- حبیبی کاسب، ح، .۱۳۷۱ . مبانی خاکشناسی .انتشارات دانشگاه تهران .۴۲۱ صفحه.

۱۱- حسینی بمرود، غ. ر.، مهدوی، س. خ.، ۱۳۹۲. بررسی برخی خصوصیات اکولوژیکی گیاه دارویی کما آنغوزه (Ferula assa-foetida L.) مطالعه موردی منطقه سبزوار استان خراسان رضوی. فصلنامه علمی- پژوهشی گیاه و زیست بوم، سال ۹، ویژه نامه شماره ۱-۳۶، ص ۴۵-۳۱.

۱۲- حسینی، س. م. ، بهدانی، م. ع. و خاسعی سیوکی، ع.، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی زمانی و مکانی و اراضی مستعدکشت پنبه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی استان خراسان جنوبی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

۱۳- خسروی، ح. و مهرابی، ع. ا. ، ۱۳۸۴ ، بررسی اقتصادی برداشت گونه آنغوزه در منطقه طبس، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸ ، شماره ۴، ص ۹۳۳-۹۴۴.

۱۴- رشید سرخ‌آبادی، م.، شهیدی، ع. و خاشعی، ع.، (۱۳۹۴) پهنه‌بندی مکانی کشت زعفران (Crocus sativus L) بر اساس عوامل اقلیمی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه). نشریه بوم شناسی کشاورزی. جلد ۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴ ، ص. ۲۳۶-۲۲۵.

۱۵- زرگری، ع.، ۱۳۷۵، گیاهان دارویی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، ۹۷۶ صفحه.

۱۶- زرین‌کفش، م، .۱۳۸۰ . خاک شناسی جنگل .انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور .۳۶۰ صفحه.

۱۷- سعادت‌فر، ا.، توسلیان، ا. و حسین جعفری، س.، ۱۳۹۷. تعیین رویشگاه بالقوه گیاه دارویی آنغوزه (Ferula assafoetida) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه چترود، کرمان). نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۹(۴): ۱۵۵-۱۳۹.

۱۸- صادقی‌نیا، م.، تازه، م.، جعفری ز. و کیانی، ک.، ۱۳۹۵ . تعیین رویشگاه بالقوه گاوزبان خارک دار (Anchusa strigosa) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهرستان دزفول. نشریه سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۷(۴): ۳۰-۱۸.

۱۹- عبدل‌پور، س. ه.، محمدی، ح. و شمسی‌پور، ع. ا.، ۱۳۹۹. قابلیت اراضی کشت و توسعه گیاه دارویی آنغوزه با رویکرد اقلیمی مطالعه موردی :استان کهگیلویه و بویراحمد. فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال دوازدهم، شماره 48، صفحه ۳۲-۱۷.

۲۰- قاسمی آریان، ع.، روحانی، ح. و حاجی میررحیمی، س. د.، ۱۳۹۶. بسته کارآفرینی تولید آنغوزه در شرایط دیم. انتشارات اسرار علم، تهران. ۵۸ ص.

۲۱- قدسی پور، ح. ۱۳۹۵. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ یازدهم، ۲۲۲ صفحه.

۲۲- کاظمی پشت مساری، ح ، ز. طهماسبی سروستانی، ب. کامکار، ش. شتایی و س. صادقی. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی زراعی – بوم‌شناختی اراضی کشاورزی استان گلستان جهت کشت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایندتجزیه وتحلیل سلسله مراتبی (AHP). مجله تولید گیاهان زراعی. ۵(۱): ۱۲۳-۱۳۹.

۲۳- مرادی. ا.، مبصر. ح. ر.، مهربان. ا. و گنجعلی. ح. ر.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی توان اکولوژیک کشاورزی در شمال ومرکز استان سیستان وبلوچستان جهت کشت کلزا با سامانه GIS. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد 93 شماره ۹، صفحه ۲۹۵-۲۷۹.

۲۴- مزدیستا، م. ۱۳۱۹. آنغوزه ایران و بررسی آن. پایان نامه دکتری، دانشکده داروسازی، دانشگاه تهران، ۹۰ ص.

۲۵- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، ۱۳۹۳. مستند ویژه دومین جشنواره و نمایشگاه ملی گیاهان دارویی، فرآورد ه‌های طبیعی و طب سنتی ایران. ناشر دانش بنیان فناور، ۱۱۲ ص.

۲۶- مقدم، م .ر، .۱۳۸۰، اکولوژی توصیفی و آماری پوشش گیاهی .انتشارات دانشگاه تهران .۲۸۶ صفحه.

۲۷- نصیری بزنجانی، س.، رضوی‌زاده، س.، و علومی، ح.، ۱۳۹۶. بررسی محتوای ترکیبات فنیل پروپانوئیدی شیرابه و ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه آنغوزه (Ferula assa-foetida L.) در برخی رویشگاه‌های طبیعی استان کرمان. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). جلد ۳۰، شماره ۳. صفحه ۶۷۴-۶۸۷.

۲۸- وزارت جهادکشاورزی، آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸، جلد ۲. انتشار ۱۳۹۹.

۲۹- یوسف‌زاده، ک.، ۱۳۸۷. بررسی تنوع ژنتیکی تبار بابونه بر مبنای خصوصیات کاریولوژیکی و مورفولوژیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

30- Askari, M. R., Sarmadian, F., Khodayari, M. and Norozi, A. A. 2009. Zonation of agro-ecological potency by remote sensing and GIS in Takestan region. Iranian Journal of Water and Soil Research. 2 (4): 93-104 (In Persian with English Abstract).

31- Azhir, F. and Shahmoradi, A. A., 2007. Autecology of Ferula ovina Boiss. In Tehran Province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 14(3): 359- 367.

32- Bertome, J. Isabel Arrillage, M. and Segura, J. 2007. Essential oil variation whitin and among
33- Davies, F.S. and Albrigo, L.G. l994. Environmental constraints on growth, development and physiology of citrus. In: Citrus (Eds. Davies, F. S. and Albrigo, L. G) 51-82. CAB International, Wallingford, UK.
34- Dehghanpour, S., 2019. Investigating the Behavior of Marketing Management among Medicinal Plant Producers of Cornelian Cherry in Kaleybar County. Thesis submitted in partial fulfillment for the degree of M.Sc. in Agricultural Management, Department of Water Engineering and Agricultural Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil.
35- Elisabetsky, E., Figueiredo, W., Oliveria, G. 1992. Traditional amazonian nerve tonics as antidepressant agents: Chaunochiton kappleri: a case study. Journal of Herbs, Spices and edicinal Plants, 1: 125-162.
36- FAO. 2002. Global agro-ecological assessment foragriculture in the 21st century. Land and water digital media series, 21. FAO, Rome. 71 pp.
37- FAO.2020. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC
38- Fatehi M, Farifteh F, Fatehi-Hassanabad Z. 2004. Antispasmodic and hypotensive effects of Ferula asafoetida gum extract. Journal of Ethnopharmacology. 91(3): 321-324.
39- Gholami, B. A. and Faravani, M., 2014. Effects of different cutting methods and times of cutting on growth performance and Gum Resin production of Ferula assa-foetida. Journal of Agricultural Sciences, 59(1): 35-44.
40- Hadavand Mirzaei, H. and Hasanloo,T. 2014. Assessment of chemical composition of essential oil of Ferula assa-foetida oleogumresin from two different sites of Yazd province in center of Iran. Research Journal of Pharmacognosy. 1(2): 51-54.
41- Heydaripoor, M. 1997. Asafetida, Natural resources department of Kerman province publication.
42- Homayouni Moghadam, F., M. Dehghan., E. Zarepur., R. Dehlavi., F. Ghaseminia & S. Ehsani, 2014. Oleo gum resin of Ferula assa-foetida L. ameliorates peripheral neuropathy in mice, Journal Ethnopharmacol, 154:183-9.
43- http://www.nrskh.ir/?p=3777.
44- https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarnamehj2-1398-site.pdf.
45- Iranshahi, M. and Iranshahi, M. 2011. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of Asafoetida (Ferula assafoetida oleo-gumresin), a review. Journal of Ethnopharmacol, 134: 1-10.
46- Iranshahi, M., 2011. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of asafoetida (Ferula assa-foetida oleogum- resin)- a review. Journal of Ethnopharmacol, 134: 1-10
47- Jahani, S., M. Salehi., A. Shakiba., A. Moradipour & F. Forouzandeh, 2015. Production and Study of Antioxidant and Antibacterial Activities of Gelatin Nano-Capsules Containing Ferula Assa-Foetida Essential Oil. Journal of Arak Medical University. (In Persian).
48- Kamkar B, Dorri MA, da Silva JAT. 2014. Assessment of land suitability and the possibility and performance of a canola (Brassica napus L.)– soybean (Glycine max L.) rotation in four basins of Golestan province, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 17(1): 95-104.
49- Kapoor, L.D. 1990. Handbook of Ayurvedic Medicinal Plants, CRC Press, Boka Raton, FL.
50- Kavoosi, G. and Rowshan, V., 2013. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil obtained from Ferula assa-foetida oleo-gum-resin: effect of collection time. Journal of Food Chemistry, 138: 2180-2187.
51- Kazemzadeh, Z., Habibi, Z., Usefzadi, M. Ashabi, M. A. and Rikan, M. (2010). Chemical composition and antibavterial activityof the essential oil of Salvia Mavrolamys bpiss & kotschy from vest Azarbayjan Province. Journal medicinal plant. 9: 75-82 (In Farsi).
52- Khederzadeh, S., Samiei, M., Mobaraki, A., Ezeddinloo, L. and Haghi, H. A., 2017. Genetic comparison of Iranian Asafetida (Ferula assa-foetida L.) populations based on cpDNA Ribosomal protein L16 intron. International Journal of Agriculture Innovations and Research, 5(4): 577-583.
53- Khorami B. Plant love. Livestock, Cultivation and Industry. 2007; 76: 64 - 9.
54- Khosravi H, Mehrabi A. Economic study of Ferula harvesting in Tabass region. Iranian J. Natural Res. 2006; 58 (4): 933 - 44.
55- Koozehgran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, S.H., and Behdani, M.A. 2011. Study of the Minimum, Average and Maximum Temperature in South Khorasan to Identify Relevant Areas for Saffron Cultivation using GIS. Journal of Soil and Water. 25(4): 892-904. (In Persian with English Summary).
56- Malczewski, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science. 20(7): 703-726.
57- Mehrpour, M., B. Kashefi & M. Moghadam, 2016. Evaluation of phytochemical and antioxidant activity in different parts of Ferula assafoetida L. from Semnan and Khorasan provinces. Eco-phytochemical. Journal of Medicinal plants, 4: 56-68. (In Persian)
58- Mir, S.J., 2018. A Study of Factors Affecting the Competitiveness of Iranian Medicinal Plants and Its Products in the Global Market. Institute for Planning Research, Agricultural Economics and Rural Development. https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub0/darooee.pdf.

59- Mirzaei Mousavand, A., Ghorbani, A., Zare Chahouki, M. A., Keivan Behjou, F. and Sefidi, K., 2016. Effective environmental factors on distribution of Prangos ferulacea Lindl. species in rangelands of Ardebil Province. Journal of rangeland, 10(2): 191-203.
60- Moghaddam, M. and Farhadi, N., 2015. Influence of environmental and genetic factors on resin yield, essential oil content and chemical composition of Ferula assa-foetida L. populations. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2: 69-76.
61- Mohaddes Hosseini, S.A., 2019. Comparison of economic benefits of cultivating medicinal plants with agricultural products in Khorasan Razavi province. Iranian Medicinal Plants Technology, 2(1): 1-14.
62- Mohammadi, G.H. and Aliha, M. 1991. A Study about Galbanum, Research Institute of Forests and Rangelands Publication.
63- Mozaffarian,V., 2007. Flora of Iran, Umbeliferae. Research Institute of Forests and Rangelands Publications, Iran, 387 p.
64- Narayana Reddy, M., and Rao, N.H. 2011. GIS Based Decision Support Systems in Agriculture. National Academy of Agricultural Research Management Rajendranagar. p. 1-11.
65- natural population of Lavandula latifolia and its relation to their ecological areas. Biochemical
66- Nowruzian, A., M. Masoumian & M.A. Ebrahimi, 2016. Micropropagation of Ferula assa-foetida L. Iranian journal of Rangeland and Forests plant breeding and genetic research, 24: 123-133. (In Persian)
67- Pirmoradi, M. R., 2012. Morphological, Physiological, Phytochemical and Genetical evaluation of Asafoetida in Kerman province. Ph.D. Thesis, Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 167 Pp.
68- Pirmoradi, M.R. 2003. Effects of Different Methods of Root Incision and Some Other Factors on the Yield and Survival of Asafetida (Ferula assa-foetida L.), MSc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
69- Saaty RW. 1987. The analytic hierarchy processwhat it is and how it is used. Mathematical Modelling. 9(3): 161-176.
70- Seetharam, K.A., Pasricha, J.S. 1987. Condiments and contact dermatitis of the finger-tips. Indian ournal of dermatology, venereology and leprology, 53: 325-228.
71- Shad, G.H. 1996. Ecology and the Exploitation Methods of Asafetida in Mohammad Abad Chelpo Kashmar, MSc. thesis, The Natural Resources Faculty, Gorgan Agriculture University.
72- Shah, N.C. and Zar, A. 2004. Asafoetida (Heeng): The well known medicinal condiment of India and Iran. A review. The Scitech Journal Issn, 1(4): 30-36.
73- Sharifi, M. and M. Pouresmael., Breaking seed dormancy in Bunium persicum by stratification and chemical substances, Asian Journal of Plant Sciences, 5(4) 2006: 695-699.
74- Sheidai Karkaj, E., Mofidi Chelan, M., Akbarlou, M. and Motamedi, J., 2013. Investigation on changes in soil organic matter and nutrient elements under various grazing intensities (Case study: Chaharbagh mountain rangelands of Golestan province). Iranian Journal of Range and Desert Research, 20(4): 720-723
75- Systematics and Ecology, (35): 479-488.
76- Yazdanshenas, H., Jafari, M., Azarnivand, H. and Arzani, H., 2015. Investigating productivity and utilization of Tragacanth gum on the basis of soil characteristics in Tiran and Kroun rangelands (Isfahan). Journal of rangeland, 9(3): 207-221.
77- Zarekarizi, A.R., Omidi, M., Falah Hoseini, H., Yazdani, D., Rezazadeh, S.H., Iravani, N. and Oladzad, A. 2011. A Review on Pharmacological Effects of Ferula assa-Foetida L.: A Systematic Review. Journal of Medicinal Plants, 10(40):17-25.