



Suitable Regions for Euphrates Poplar Wood Farming: Environmental Data Analysis and GIS Application

Saeid Shabani^{✉1} , Hassan Faramarzi² , Behrooz Mohseni³ , Akram Ahmadi⁴ ,
Ali Akbar Damavandi⁵ 

1. Corresponding Author, Research Assistant, Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: s.shabani@areeo.ac.ir
2. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University of Tehran, Noor, Iran. Email: Faramarzi.hassan@yahoo.com
3. Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: b.mohseni@areeo.ac.ir
4. Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: Ahmadi.1870@gmail.com
5. Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Tehran, Iran. Email: a.damavandi@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Although Golestan Province is situated within the temperate climate zone of northern Iran, large portions, particularly in Gonbad-e Kavous county, are at risk of desertification. This environmental degradation, along with the increasing spread of dust storms, has severely impacted local livelihoods and, coupled with migration, is likely to exacerbate economic and social challenges both within the region and in adjacent areas. The promotion of wood farming has been consistently considered as a viable strategy to combat desertification and to sustain the livelihoods of local populations. This study aims to identify the key factors influencing wood farming with <i>Populus euphratica</i> in Gonbad-e Kavous county using the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Weighted Linear Combination (WLC) methodologies. Additionally, it seeks to map areas suitable for the plantation of this species. In this research, 10 climatic and edaphic variables, along with four auxiliary factors—distance from the surface water, distance from the roads, depth of groundwater, and land use—were extracted from relevant data sources to assess land suitability. Expert opinion was solicited to prioritize these factors, after which digital layers were weighted and classified according to established standards, culminating in the creation of a comprehensive database and thematic maps. Subsequent scoring and analysis using hierarchical and multivariate approaches enabled the delineation of areas suitable for wood farming. The results indicate that climatic variables were the most significant determinants in the final suitability maps, with soil electrical conductivity (EC), among the edaphic factors, contributing the highest weight (0.0424). These findings offer valuable insights for decision-makers in developing and implementing effective wood farming strategies in the region.
Article history: Received: 7 September 2024 Received in revised form: 2 November 2024 Accepted: 30 April 2025 Published online: Spring 2025	
Keywords: <i>The possibility of wood production, mapping, afforestation, wood farming, ecological nature.</i>	

Cite this article: Shabani, S., Faramarzi, H., Mohseni, B., Ahmadi, A. & Damavandi, A. A. (2025). Suitable Regions for Euphrates Poplar Wood Farming: Environmental Data Analysis and GIS Application. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 56-2 (1), 43-64. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.380127.669314>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.380127.669314>

Extended Abstract

Objectives

Certain regions of Golestan Province, particularly in the Gonbad-e Kavous county, experience semi-arid and arid climates influenced by the proximity to the Qaraqom Desert in Turkmenistan. These conditions have resulted in reduced quantity and quality of rangeland and tree cover. Climate change and decreasing precipitation, coupled with the mismanagement of water resources, have adversely impacted the livelihoods of

local communities, leading to desertification and increased dust storms. To combat this situation, the development of tree cover through afforestation and agroforestry has been proposed as solutions for controlling desertification, expanding green spaces, and supporting local livelihoods.

Agroforestry programs are of significant importance, especially following the cessation of logging in the northern forests of the country, which previously met less than 15% of the wood industry's demand. The country's wood demand is approximately 14 million cubic meters, of which less than 3 million cubic meters are produced through agroforestry and orchards, with the remainder being imported. Golestan Province, with an annual wood demand exceeding 500,000 tons for industrial purposes, has the potential to meet this demand through the expansion of agroforestry.

Utilizing GIS techniques and multi-criteria analyses can aid in identifying suitable areas for agroforestry. This study employs these techniques and a weighted linear combination approach to determine suitable areas for agroforestry in the Gonbad-e Kavous county. Spatial modeling and multi-criteria evaluation can produce land suitability maps for agroforestry, highlighting the critical role of climatic factors in developing these maps.

Methods

Gonbad-e Kavous County, covering an area of 5008.55 square kilometers, accounts for 24.59% of Golestan Province. This county is located at 37°17' N latitude and 55°18' E longitude, sharing a border with Turkmenistan, with an average elevation of 50 meters above sea level. Annual rainfall varies between 200 and 400 millimeters, dropping below 250 millimeters in northern regions.

This descriptive-analytical study, using existing data and field surveys, aimed to identify suitable areas for cultivating *Populus euphratica* in Gonbad-e Kavous. Due to the uniformity of the topography, factors such as elevation, slope direction, and slope percentage were excluded from the modeling. Fourteen variables were considered, including climatic factors (minimum temperature, annual average temperature, maximum temperature, annual rainfall, growing season rainfall, average annual humidity, and number of frost days), soil factors (soil texture, *pH*, Electrical Conductivity (EC)), and four factors related to distance from surface water, roads, groundwater depth maps, and land use.

Climatic data were obtained from synoptic and climatology stations, soil characteristics from agricultural maps, distances from roads and surface water from the Ministry of Roads and Urban Development and the Regional Water Company, and land use maps from the General Department of Natural Resources and Watershed Management. Maps were analyzed using ArcGIS 10.8 and IDRISI TerrSet2020 software and converted to raster format with 50×50 meters dimensions.

Value standardization was performed using the fuzzy method, and criteria weighting was conducted using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Weighting questionnaires were distributed to 10 agroforestry experts. To determine the potential for agroforestry, a weighted linear combination model was applied. Data standardization adjusted the layer values to a range between 0 and 255. The accuracy and validity of the weighting were assessed using the consistency index; a consistency ratio of 0.1 or less indicated correct weighting.

After determining the weight of each criterion, multi-criteria evaluation was performed by overlaying the layers in the GIS system, resulting in the final land suitability map for agroforestry.

Results

In this study, annual precipitation, with a weight of 0.1767, had the greatest impact among the factors examined. The northwestern regions of Gonbad-e Kavous exhibited the highest minimum, annual average, and maximum temperatures, and experienced the most prolonged frost periods. The average relative humidity in all areas was above 60%. The results indicated that climatic factors were the most critical for the success of agroforestry, with northern and northwestern areas facing significant challenges due to reduced rainfall, while southern areas benefitted from proximity to the Hyrcanian forests and a temperate climate.

The soil textures of silty clay loam and silty loam with a *pH* between 7 and 8.3 were found to be suitable for the growth of *Populus euphratica*, and soil EC was observed to be less than 4 dS/m in most regions. Proximity to surface water and groundwater depth also played important roles in the development of *Populus euphratica* agroforestry. Areas near perennial and seasonal rivers and regions with a high groundwater table could adequately meet the water requirements of this species. Conversely, northern regions, due to the lack of suitable water resources, were less suitable for agroforestry with this species.

The study revealed that while *Populus euphratica* exhibits high tolerance to temperature and EC, its growth is limited in areas with high temperatures and low precipitation. Overall, the southern and central regions of Gonbad-e Kavous were found to be more suitable for *Populus euphratica* agroforestry, whereas the northern and northwestern areas were less suitable due to drought stress and soil EC challenges.

Discussion

This study aimed to identify suitable areas for the cultivation of *Populus euphratica* in Gonbad-e Kavous. The climatic maps indicate that the northwestern and western regions of the county, including Incheh Borun, receive low precipitation. Despite the presence of the Atrak River, the potential for planting depends on the river's flow rate. Ten years of meteorological data reveal that the southern regions have better climatic conditions. Maps of proximity to surface water and groundwater depth also highlight the suitability of the southern regions. Due to the high-water demand of *Populus euphratica*, it is recommended that this species not be planted in areas experiencing significant drought stress. The central and southern regions of the county are more suitable for its cultivation.

The land suitability map for agroforestry shows that the southern and central regions, including the Masan and Haji Qushan areas, are suitable for the development of agroforestry. Soil EC in the northwestern regions is a significant challenge. *Populus euphratica* naturally grows in arid and semi-arid areas with nearby surface or subsurface water, conditions not present in the northern regions. Based on the research findings, focusing on areas with Suitable and Very Suitable potential identified in the map, along with providing financial facilities, guaranteed wood purchase, training of operators, and coordination between relevant institutions, can effectively accelerate the development of wood farming. Therefore, the following recommendations are made:

- Focus on areas with good and excellent potential for agroforestry.
- Implement agroforestry projects on the lower slopes of hilly terrains to benefit from better soil moisture conditions and reduced drought stress.
- Plant shrubs in unsuitable areas to conserve moisture, organic matter, and soil aggregates, and to prevent dust production.
- Ensure the supply of seedlings for the development of agroforestry.
- Provide facilities for water-saving systems in agroforestry plots.
- Insure agroforestry products against natural disasters, pests, and diseases.

Pre-purchase wood products by particle board factories and reimburse owners and smallholders throughout the year to make wood products competitive with agricultural products.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

If the study did not report any data, you might add “Not applicable” here.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



پتانسیل سنجی نواحی مستعد زراعت چوب با گونه پده: تحلیل داده‌های محیطی و استفاده از GIS

سعید شعبانی^۱ | حسن فرامرزی^۲ | بهروز محسنی^۳ | اکرم احمدی^۴ | علی اکبر دماوندی^۵

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: s.shabani@areeo.ac.ir
۲. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: Faramarzi.hassan@yahoo.com
۳. بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: b.mohseni@areeo.ac.ir
۴. بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: Ahmadi.1870@gmail.com
۵. موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: a.damavandi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰ تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: امکان تولید چوب، پهنه‌بندی، جنگل‌کاری، زراعت چوب، سرشت اکولوژیک.	با وجود قرارگیری استان گلستان در اقلیم معتدله شمال کشور، بخش‌های قابل توجهی از آن به‌ویژه در شهرستان گنبدکاووس در خطر بیابانی شدن قرار دارد. پدیده بیابانی شدن، علاوه بر گسترش گردوغبار، معیشت مردم را تحت تأثیر قرار داده و با گسترش مهاجرت، مشکلات اقتصادی - اجتماعی گسترده‌ای برای مردم این مناطق و شهرهای اطراف ایجاد خواهد نمود. لذا توسعه زراعت چوب به منظور کاهش و جلوگیری از روند بیابان‌زایی و همچنین تأمین معیشت مردم این مناطق، همواره مطرح بوده است. هدف این تحقیق، شناخت عوامل مؤثر در زراعت چوب با گونه پده در شهرستان گنبدکاووس از طریق فرآیند تحلیل سلسه مراتبی و روش ترکیب خطی وزنی، و پهنه‌بندی نواحی مستعد کاشت با این گونه است. در این تحقیق ۱۰ متغیر اقلیمی خاکی در کنار چهار عامل فاصله از آب‌های سطحی و فاصله از جاده و همچنین نقشه‌های لایه عمق آب‌های زیرزمینی و کاربری منطقه با استفاده از منابع داده‌ها استخراج و در شناسایی تناسب اراضی استفاده شد. بعد از دریافت نظرات کارشناسان در اولویت‌بندی عوامل مؤثر، با رقومی کردن و وزن دهی لایه‌ها بر اساس استانداردهای موجود، پایگاه اطلاعاتی تشکیل و نقشه‌های موضوعی تهیه گردید. سپس با امتیازدهی و تجزیه و تحلیل پارامترها از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ارزیابی چند متغیره، پهنه‌بندی مناطق مستعد زراعت چوب برای هر گونه به صورت جداگانه در محیط نرم‌افزارهای IDRISI و Arc GIS انجام گرفت. بر اساس نتایج عوامل اقلیمی بیشترین وزن را بر نقشه‌های نهایی تناسب اراضی برجای گذاشتند. همچنین در بین عوامل خاکی، شوری خاک با میزان ۰/۰۴۲۴ بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. بر اساس یافته‌های تحقیق، تمرکز بر مناطق با توان خوب و عالی شناسایی شده در نقشه، همراه با ارائه تسهیلات مالی، خرید تضمینی چوب، آموزش بهره‌برداران و هماهنگی بین نهادهای مرتبط، می‌تواند توسعه زراعت چوب را به‌طور مؤثری تسریع کند.

استناد: شعبانی، سعید؛ فرامرزی، حسن؛ محسنی، بهروز؛ احمدی، اکرم و دماوندی، علی اکبر (۱۴۰۴). پتانسیل سنجی نواحی مستعد زراعت چوب با گونه پده: تحلیل داده‌های محیطی و استفاده از GIS. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲- ۵۶، (۱)، ۴۳-۶۴.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.380127.669314>



© نویسنده‌گان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.380127.669314>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

استان گلستان با وجود اقلیم معتدل، در بخش‌هایی مانند گنبد کاووس، تحت تأثیر بیابان قره‌قوم، دارای اقلیم نیمه‌خشک و خشک است. کاهش بارش ناشی از تغییر اقلیم و گرمایش جهانی (Motaghd et al, 2022)، همراه با بهره‌برداری نامناسب از منابع آبی، معیشت مردم را مختل کرده (Eshraghi & Ghasemian, 2012) و به بیابانی شدن، افزایش گرد و غبار، و مهاجرت ساکنان منجر شده است (Soleymani Nejad et al, 2019). توسعه پوشش درختی از طریق جنگل‌کاری و زراعت چوب می‌تواند با کنترل بیابانی شدن، تقویت فضای سبز، و تأمین معیشت محلی، به حفاظت از منابع طبیعی و رفع نیاز صنایع چوبی استان کمک کند. این صنایع به‌ویژه پس از توقف بهره‌برداری از جنگل‌های شمال، با کمبود شدید چوب مواجه‌اند، در حالی که پیش‌تر نیز این جنگل‌ها کمتر از ۱۵ درصد نیاز چوبی را تأمین می‌کردند (Modirrahmati, 2016).

برآورد نیاز آتی کشور به چوب در حدود ۱۴ میلیون مترمکعب است که در شرایط فعلی کمتر از ۳ میلیون متر مکعب به وسیله زراعت چوب و باغات تولید و مابقی از طریق واردات تأمین می‌گردد (Sanchouli et al, 2021). در همین راستا، احداث کارگاه‌ها و کارخانه‌های صنایع چوب از جمله در استان گلستان، نیاز به مواد اولیه چوبی را در استان افزایش داده و با توجه به توقف برنامه برداشت چوب از جنگل‌های طبیعی، برنامه‌های زراعت چوب از اهمیت بالایی برخوردار است. کارخانه‌های تخته خرده چوب در استان گلستان سالانه به بیش از ۵۰۰ هزار تن چوب نیازمند هستند. این در حالی است که برخی از صنایع مرتبط با چوب، به دلیل نبود منابع مورد نیاز، با نیمی از ظرفیت خود مشغول فعالیت هستند (Ahmadloo, 2019).

تأمین نیاز چوبی در بخش صنعت، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جدی دولت‌ها می‌باشد. بدیهی است کمبود نیاز چوبی می‌بایست با واردات از سایر کشورها و یا از طریق زراعت چوب برطرف گردد. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد طی یک دهه اخیر حدود دو میلیون مترمکعب از نیاز چوبی کشور به صورت سالانه از طریق واردات چوب از کشورهای مختلف تأمین شده است (Modirrahmati, 2016). زراعت چوب با گونه‌های سریع‌الرشد، یکی از راهکارهای مؤثر جهت حل مشکل می‌باشد (Calagari, 2018a). زراعت چوب علاوه بر بهبود شرایط اقتصادی بخش‌های دولتی و خصوصی، تأثیرات منفی زیست محیطی ناشی از بهره‌برداری‌های سنتی و صنعتی را کاهش داده، تولید اشتغال را به دنبال داشته و به حفظ سرمایه می‌انجامد. اگرچه تاکنون برنامه‌های متعددی جهت توسعه زراعت چوب در استان گلستان انجام گرفته است، لیکن با وجود تنوع و پتانسیل اقلیمی و خاکی موجود در این استان، شاید بتوان در صورت مدیریت درست، این استان را به یکی از مناطق موفق در زمینه توسعه برنامه‌های زراعت با گونه‌های زود رشد و چوب‌ده بومی و غیر بومی تبدیل نمود. ضرورت عملی کردن چنین امکانی، تنها از طریق مطالعه همه جانبه شرایط و منابع توسعه زراعت چوب در بخش‌های مختلف این استان امکان‌پذیر خواهد بود (Eskandari et al, 2022).

پده گونه‌ای از صنوبر می‌باشد که در مناطق وسیعی از ایران به صورت طبیعی گسترش داشته و بومی نواحی نیمه‌خشک و خشک کشور می‌باشد. بررسی دامنه پراکنش پده نشان می‌دهد که در شرایط مختلف آب و هوایی از مناطق گرم و خشک استان‌های جنوبی تا نواحی بسیار سرد و کوهستانی کشور واقع در آذربایجان و زنجان به خوبی توسعه پیدا کرده است. از ویژگی‌های منحصر به فرد پده می‌توان به تحمل آن نسبت به دامنه زیاد دمایی و همچنین شوری خاک اشاره نمود. البته قابل ذکر است اگرچه این گونه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به خوبی مستقر می‌شود، لیکن وجود منابع آبی سطحی و زیر سطحی در نزدیک رویشگاه‌های آن، شرطی کلیدی محسوب می‌شود (Calagari, 2018b). از این رو مشاهده می‌شود در مناطق خشک و کوهستانی با بارش‌ها کم و آب سطحی و زیرسطحی غیر قابل دسترس، رویشگاه‌های پده، محدود به شکاف دره‌ها می‌شود. زیرا در این شرایط فیزیوگرافیک توصیف شده، دره‌ها از رطوبت بالاتری برخوردارند. در مناطق تحت انتشار، این گونه جهت تأمین چوب، علوفه و نیز حفظ و تثبیت خاک دیواره رودخانه‌ها و جلوگیری از عریض شدن بستر آن و حفظ اکوسیستم طبیعی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (Calagari, 2018b). اگرچه به‌طور معمول تولید کمی و کیفی تنه درختان پده منجر

به محدودیت کاربردی آن می‌شود، لیکن استفاده از این گونه در مناطق خشک و نیمه خشک شمال استان گلستان علاوه بر بهبود شرایط اکولوژیک می‌تواند به ویژه در تلفیق با سایر گونه‌های درختی یا زراعی سبب افزایش قدرت اقتصادی خانوارها شود.

با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی و میزان سازگاری گونه پده به خشکی و گرمای تابستانه، شناسایی مناطق مناسب جهت زراعت چوب با گونه پده، می‌تواند کمک بسزایی در توسعه برنامه‌های زراعت چوب داشته باشد. از آنجا که تحلیل‌های مکانی و جغرافیایی اغلب چندمعیاری می‌باشد، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان مکانی جهت حل چالش مورد نظر با دامنه گسترده‌ای از داده‌ها و اطلاعات روبرو هستند که استفاده، تلفیق و تحلیل آن‌ها به سبب حجم زیاد و ماهیت‌های متفاوت، اهمیت متفاوت معیارها و حتی تغییرات در طبقات داخلی هر معیار، به طور معمول بسیار پیچیده و مشکل است (Sanai et al, 2010; Khalili et al, 2019). تنوع اطلاعات و پیچیدگی تحلیل هم‌زمان اطلاعات موضوعی و مکانی سبب شده است تا در مطالعات مکان‌یابی از سامانه اطلاعات جغرافیایی به شکل گسترده‌ای استفاده شود (Eskandari et al, 2022). بدون تردید سامانه‌های حمایت از تصمیم‌گیری از مهم‌ترین بخش‌های هر سامانه اطلاعات جغرافیایی نوین اعم از برداری و شبکه‌ای به شمار می‌رود و ارزیابی چند معیاره روشی برای مقایسه اهمیت معیارهای مختلف نسبت به یکدیگر و تلفیق داده‌ها با توجه به اهمیت هر یک در تصمیم‌گیری می‌باشد (Rodríguez-Dorna et al, 2023). در این راستا به کارگیری تکنیک‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ارزیابی چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (Rajabi et al, 2011) این امکان را فراهم می‌آورد تا مناطق مستعد یا بهینه جهت زراعت چوب با هر نوع گونه‌ای شناسایی گردد. معرفی مناطق مناسب جهت کاشت گونه‌های چوب‌ده، سبب می‌شود تا با شناسایی عوامل مؤثر بر استقرار و رشد بهینه یک گونه در منطقه‌ای خاص، موفقیت‌آمیز بودن اجرای طرح‌های جنگل‌کاری و زراعت چوب را با اطمینان بالاتری تضمین نمود.

مطالعه‌ای در جنوب استان کرمان با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS، به مکان‌یابی مناطق مستعد کشت دیودال پرداخت. نتایج نشان داد لایه کاربری اراضی (اهمیت نسبی ۰/۳۸) تأثیرگذارترین عامل استقرار گونه است. این روش به‌عنوان راهکاری مناسب برای توسعه مکان‌یابی گونه‌های درختی معرفی شد (Khanamani & Bamerinejad, 2020). در مطالعه‌ای دیگر با تحلیل فضایی و استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مناطق مستعد کشت پسته در ایران شناسایی شد. پس از وزن‌دهی ۱۷ لایه اطلاعاتی در نرم‌افزار Expert Choice و ترکیب آن‌ها در GIS، نقشه تناسب اراضی در پنج طبقه تهیه شد. نتایج نشان داد ۴۳ درصد از مساحت کشور در طبقه نامناسب و ۳۵ درصد در طبقه مناسب قرار دارد. این روش مکان‌یابی کاربردی برای توسعه کشت پسته را فراهم کرد (Hosseinzadeh kermani et al, 2022). در پژوهشی مرتبط، تناسب اراضی برای کشاورزی با تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی مورد تحلیل قرار گرفت. از ۹ معیار زمین‌شناسی و خاکی استفاده شد و رویکرد فازی، عدم قطعیت نظرات کارشناسان را کاهش داد. درحالی‌که مطالعات پیشین ۴۰ درصد اراضی را مناسب تشخیص داده بودند، این روش با رویکرد احتیاطی، اراضی مستعد را به ۳۰ درصد کاهش داد (Ozkan et al, 2020). Eskandari et al (۲۰۲۲) پتانسیل زراعت چوب با گونه اوکالپیتوس را با استفاده از داده‌های اطلاعاتی نقشه پوشش، عوامل اکولوژیکی، اقلیمی، هیدرولیک و خاکی و با به کارگیری رویکرد تلفیقی فازی سلسله مراتبی در جنوب کشور مورد بررسی قرار دادند. دقت وزن عوامل مؤثر با نسبت سازگاری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد در بین عوامل اولیه عامل آب با وزن ۰/۳۴ و پوشش زمین با وزن ۰/۳۲، تأثیرگذارترین عوامل در توسعه اراضی اوکالپیتوس در منطقه بودند. ارزیابی دقت نشان داد که رویکرد فازی سلسله مراتبی با دقت کلی ۰/۸۲ و شاخص کاپای ۰/۷۱، از کارایی بالایی برخوردار بوده است.

انتخاب اراضی مناسب برای زراعت چوب نیازمند شناسایی دقیق معیارهای مختلفی شامل ویژگی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، و زیرساختی است که توسط پژوهشگران و برنامه‌ریزان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rodríguez-Dorna et al, 2023). مطالعات مختلف تأکید دارند که زراعت چوب باید با توجه به ویژگی‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی هر منطقه انجام شود (Verkerk et al, 2015; Bader et al, 2023). ویژگی‌هایی نظیر بافت خاک، pH، شوری، مواد آلی، و ظرفیت

نگهداری آب از جمله فاکتورهای کلیدی هستند که در انتخاب اراضی مناسب تأثیرگذارند (Verkerk et al, 2015; Xiao et al, 2024). استفاده از لایه‌های مکانی مرتبط با خاک، نظیر بافت خاک، می‌تواند دقت در ارزیابی اراضی را افزایش دهد (Feikema & Beiker, 2011). شوری خاک نیز به‌عنوان یکی از محدودیت‌های اصلی زراعت چوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح شده است (Harman et al, 2016). پژوهش ذکرشده نشان می‌دهد که گونه‌های متحمل به شوری می‌توانند در چنین شرایطی گزینه‌ای مناسب باشند. همچنین در مناطقی که وجود لایه‌های سخت خاک، محدودیت جدی ایجاد کرده است، عدم توجه به عمق خاک می‌تواند منجر به کاهش دقت نتایج تحقیقات شود (Luo et al, 2008). به‌علاوه، افزودن لایه‌هایی نظیر کیفیت آب و دسترسی به منابع آبی به تحلیل‌های GIS در زمینه زراعت چوب می‌تواند ارزیابی‌ها را بهبود بخشد (Al-Dulaimi & Younes, 2017). در مقابل، عدم استفاده از این لایه‌ها در برخی تحقیقات باعث شده است که برخی مناطق مناسب نادیده گرفته شوند (Kumar, 2019). اقلیم، به‌ویژه دما و بارندگی، نیز از عوامل کلیدی در تعیین اراضی مناسب برای زراعت چوب است. تطابق گونه‌های زراعت چوب با شرایط اقلیمی منطقه می‌تواند عملکرد محصول را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد (Ahlawat et al, 2019). استفاده از داده‌های میانگین دمای سالانه، حداکثر و حداقل دما، طول فصل رشد، و توزیع بارندگی در ارزیابی‌های مکانی از جمله مواردی است که در پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است (Eskandari et al, 2022). ویژگی‌های توپوگرافی مانند شیب، جهت شیب، و ارتفاع از سطح دریا نقش مهمی در تعیین اراضی مناسب برای زراعت چوب به‌ویژه در مناطقی که از تنوع توپوگرافیک بالایی برخوردار هستند، اهمیت زیادی دارد (Arvola et al, 2019). به‌عنوان مثال شیب اراضی می‌تواند بر هزینه‌های آماده‌سازی زمین و بهره‌وری تأثیرگذار باشد (Dong et al, 2022; Sun et al, 2022). همچنین، جهت شیب ممکن است در دسترسی به نور خورشید و الگوهای رطوبتی نقش داشته باشد (Elhag, 2010). عدم استفاده از لایه‌های مرتبط با توپوگرافی باعث شده است که برخی مناطق مستعد نادیده گرفته شوند (Aher et al, 2014). افزودن این لایه‌ها به تحلیل مکانی، به‌ویژه در مناطقی با ناهمواری‌های زیاد، می‌تواند دقت ارزیابی‌ها را افزایش دهد. عوامل اقتصادی و اجتماعی نیز در موفقیت زراعت چوب نقش کلیدی دارند. هزینه‌های احداث و نگهداری، دسترسی به بازارهای مصرف، و امکان بهره‌مندی از حمایت‌های دولتی از جمله معیارهایی هستند که در صورت وجود لایه‌های اطلاعاتی آن، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (Jaimes et al, 2012). در این راستا نشان داده شده است که نزدیکی به جاده‌ها و بازارها می‌تواند هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش داده و سودآوری پروژه را افزایش دهد (Kordrostami et al, 2021). در عین حال، مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های زراعت چوب، به‌ویژه در مناطقی که معیشت مردم وابسته به منابع طبیعی است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج مطالعه Bader et al (۲۰۲۳)، تأکید دارد که برنامه‌های آموزشی و مشارکتی می‌توانند سطح پذیرش و موفقیت پروژه‌های زراعت چوب را افزایش دهد.

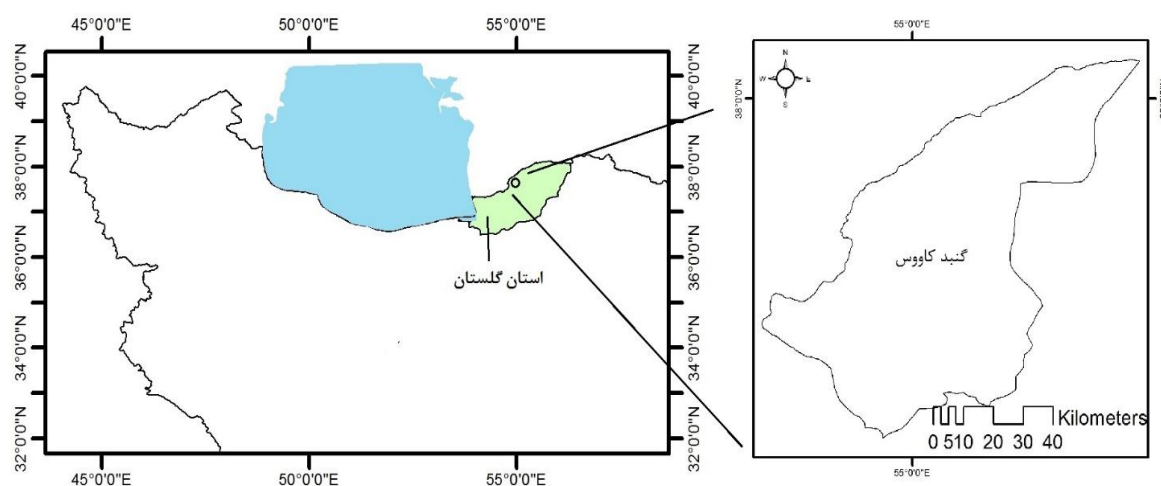
پژوهش پیش‌رو سعی دارد تا با به‌کارگیری تکنیک‌های فوق‌الذکر، به تعیین عرصه‌های مناسب جهت زراعت چوب با گونه پده بر اساس رویکرد ترکیب خطی وزنی در شهرستان گنبد کاووس بپردازد. بر این اساس فرضیات مطالعه عبارتند از:

- مدل‌سازی مکانی از طریق تلفیق مدل ارزیابی چند معیاره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، می‌تواند نقشه‌های تناسب اراضی زراعت چوب با قابلیت استفاده در بخش اجرا را تولید کند.
- عوامل اقلیمی بیشترین وزن را در تهیه نقشه‌های تناسب اراضی به منظور توسعه زراعت چوب در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان گنبد کاووس با مساحت ۵۰۸/۵۵ کیلومتر مربع، ۲۴/۵۹ درصد از مساحت استان گلستان را در بر دارد (Shabani et al, 2023). گنبد کاووس در ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع گردیده (شکل ۱) و از شمال با کشور ترکمنستان، از جنوب با شهرستان‌های آزادشهر و رامیان، از شرق با شهرستان‌های مراوه تپه، کلالة و مینودشت و از غرب با شهرستان آق قلا محدود می‌شود (Shabani et al, 2023). متوسط ارتفاع گنبد کاووس حدود ۵۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. با توجه به موقعیت طبیعی این شهرستان و کاهش ارتفاع رشته کوه‌های البرز شرقی در این منطقه و دور شدن از دریا، میزان بارندگی آن بین ۲۰۰ تا حداکثر ۴۰۰ میلی‌متر در سال متغیر می‌باشد. لازم به ذکر است که با حرکت به سمت شمال شهرستان (نوار مرزی با ترکمنستان)، از میزان بارندگی کاسته شده، به‌طوری‌که میزان بارش در برخی از سال‌ها به کمتر از ۲۵۰ میلیمتر نیز می‌رسد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

در پژوهش‌های مرتبط با پهنه‌بندی و ارزیابی تناسب اراضی، اتخاذ روش‌های دقیق علمی برای جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌ها اهمیت فراوانی دارد. روش‌شناسی مورد استفاده باید به گونه‌ای باشد که بتواند داده‌های پراکنده و متنوع محیطی را به اطلاعات مکانی قابل استفاده تبدیل کند. در این راستا، استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در ترکیب با روش‌های آماری و تحلیل‌های چندمعیاره، از ابزارهای کارآمد برای تحلیل و تولید نقشه‌های پهنه‌بندی است. پیش‌رو در قالب توصیفی - تحلیلی، با جمع‌آوری داده‌های موجود و مطالعات میدانی و همچنین مدل‌سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (Eskandari et al, 2022) به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب زراعت چوب با گونه پده در گنبد کاووس پرداخته است. لذا به‌کارگیری مجموعه‌ای از روش‌ها شامل پیش‌پردازش داده‌ها، میان‌یابی مکانی، استانداردسازی و وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی، و تحلیل مکانی در دستور کار قرار گرفت، که در ادامه به تفکیک شرح داده شده است. از آن‌جا که خصوصیات توپوگرافیک ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و درصد شیب در شهرستان گنبد کاووس تغییر زیادی ندارد، این مشخصات از مدل‌سازی تناسب اراضی کنار گذاشته شدند. در این مطالعه ۱۴ متغیر شامل، عوامل اقلیمی کمینه دما (شکل ۲، الف)، میانگین دمای سالانه (شکل ۲، ب)، بیشینه دما (شکل ۲، پ)، میزان بارش سالانه (شکل ۲، ت)، میزان بارش در فصل رویش (شکل ۲، ث)، میانگین رطوبت هوای سالانه (شکل ۲، ج) و تعداد روزهای یخبندان (شکل ۲، چ)، عوامل خاکی بافت خاک (شکل ۲،

ح)، pH (شکل ۲، خ) و شوری (شکل ۲، د)، چهار عامل فاصله از آب‌های سطحی (شکل ۲، ذ) و فاصله از جاده (شکل ۲، ر) و همچنین نقشه‌های لایه عمق آب‌های زیرزمینی (شکل ۲، ز) و کاربری منطقه (شکل ۲، ژ) با استفاده از منابع داده‌ها استخراج و در شناسایی تناسب اراضی استفاده شد. داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی جمع‌آوری شدند. این داده‌ها ابتدا از نظر تطابق زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفتند تا اطمینان حاصل شود که همه داده‌ها مربوط به یک دوره زمانی واحد و محدوده مکانی مورد مطالعه هستند. در مرحله بعد، داده‌های دارای خطا یا مقادیر مفقود شناسایی و تصحیح شدند. داده‌های غیرقابل اعتماد در این مرحله از کار کنار گذاشته شدند. متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در تحقیق، با میان‌یابی به روش معکوس فاصله روی داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی داخل و اطراف شهرستان گنبدکاووس آماده شد. این روش به دلیل سادگی، کارایی و دقت بالا در توزیع داده‌های اقلیمی در مناطق با تراکم ایستگاهی متوسط انتخاب مناسبی است (Karami & Sarvestan, 2022). در روش مذکور، فرض بر این است که نقاط نزدیک‌تر به نقطه مورد نظر، تأثیر بیشتری بر مقدار پیش‌بینی دارند. استفاده از این روش موجب کاهش اثر نویز داده‌ها و افزایش دقت لایه‌های تولیدی می‌شود. به‌علاوه، خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ وزارت جهاد کشاورزی، فاصله از جاده‌های مواصلاتی به‌وسیله نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ وزارت راه و شهرسازی، فاصله از آب‌های سطحی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان و نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان - گرگان تهیه شد. نقشه‌های مورد اشاره در محیط نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰/۸ تهیه و سپس به محیط نرم‌افزار IDRISI TerrSet2020، انتقال داده شد.

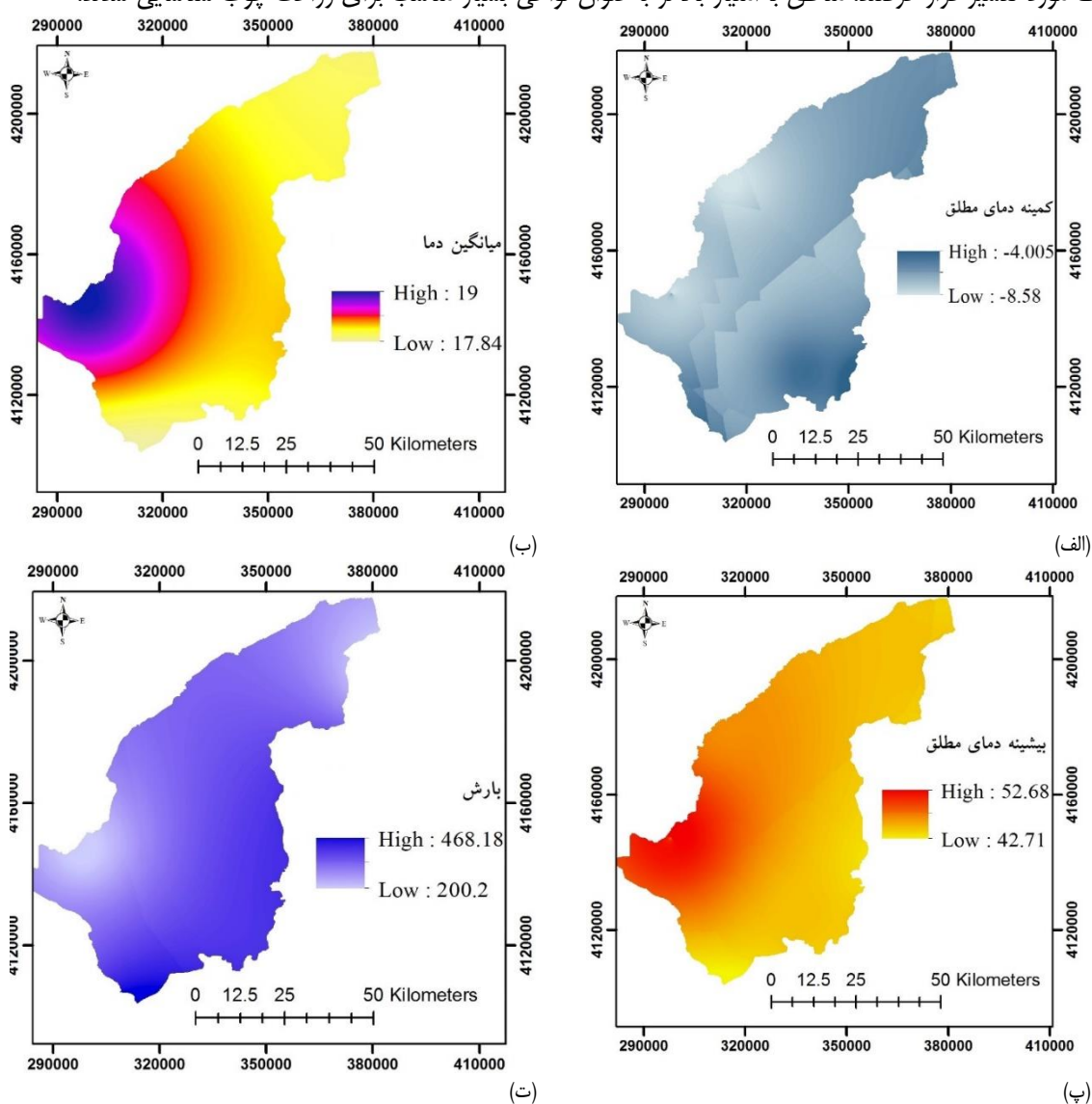
ابتدا تمامی داده‌ها به سیستم مختصات یکسان متریک تبدیل شدند تا تطابق مکانی بین آن‌ها برقرار شود. نقشه‌ها در محیط IDRISI، دارای فرمت رستری با ابعاد ۵۰ × ۵۰ بودند. انتخاب این ابعاد بر اساس دقت مطلوب و محدودیت‌های محاسباتی انجام شد. رزولوشن ۵۰ متری، توازن مناسبی بین جزئیات مکانی و کارایی پردازش فراهم کرد. برای اطمینان از تطابق کامل مکانی، محدوده مشترک بین لایه‌ها مشخص شد. لایه‌هایی که خارج از محدوده پژوهش گسترش داشتند، به محدوده منطقه مورد مطالعه محدود شدند. مقادیر عددی تمامی لایه‌ها به مقیاس صفر تا یک تبدیل شدند. این استانداردسازی با استفاده از ابزار Reclash در IDRISI انجام شد تا مقایسه و ترکیب لایه‌ها تسهیل گردد. به‌منظور استانداردسازی ارزش‌ها و همسان‌سازی مقیاس‌ها در لایه‌های هر نقشه، از روش فازی و برای وزن‌دهی به معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار IDRISI استفاده شد. جهت وزن‌دهی به هر کدام از معیارهای مورد بررسی، پرسش‌نامه‌هایی در اختیار ۱۰ کارشناس در زمینه زراعت چوب قرار گرفت. در ادامه، ماتریس مقایسه زوجی معیارها با استفاده از نظرات کارشناسی تکمیل شد. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، وزن‌های نهایی هر معیار با استفاده از ابزار WEIGHT در IDRISI محاسبه گردید. این ابزار یک پیشرفته برای اجرای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که امکان ورود مستقیم مقایسات زوجی را فراهم می‌آورد (Sanai et al, 2010). همچنین جهت تحلیل و مدل‌سازی نهایی به‌منظور تعیین پتانسیل زراعت چوب برای گونه مورد اشاره، مدل ترکیب خطی وزنی به‌کار گرفته شد. در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر آلترناتیو Ai را به‌وسیله رابطه زیر محاسبه می‌کنند (Sanai et al, 2010).

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij}$$

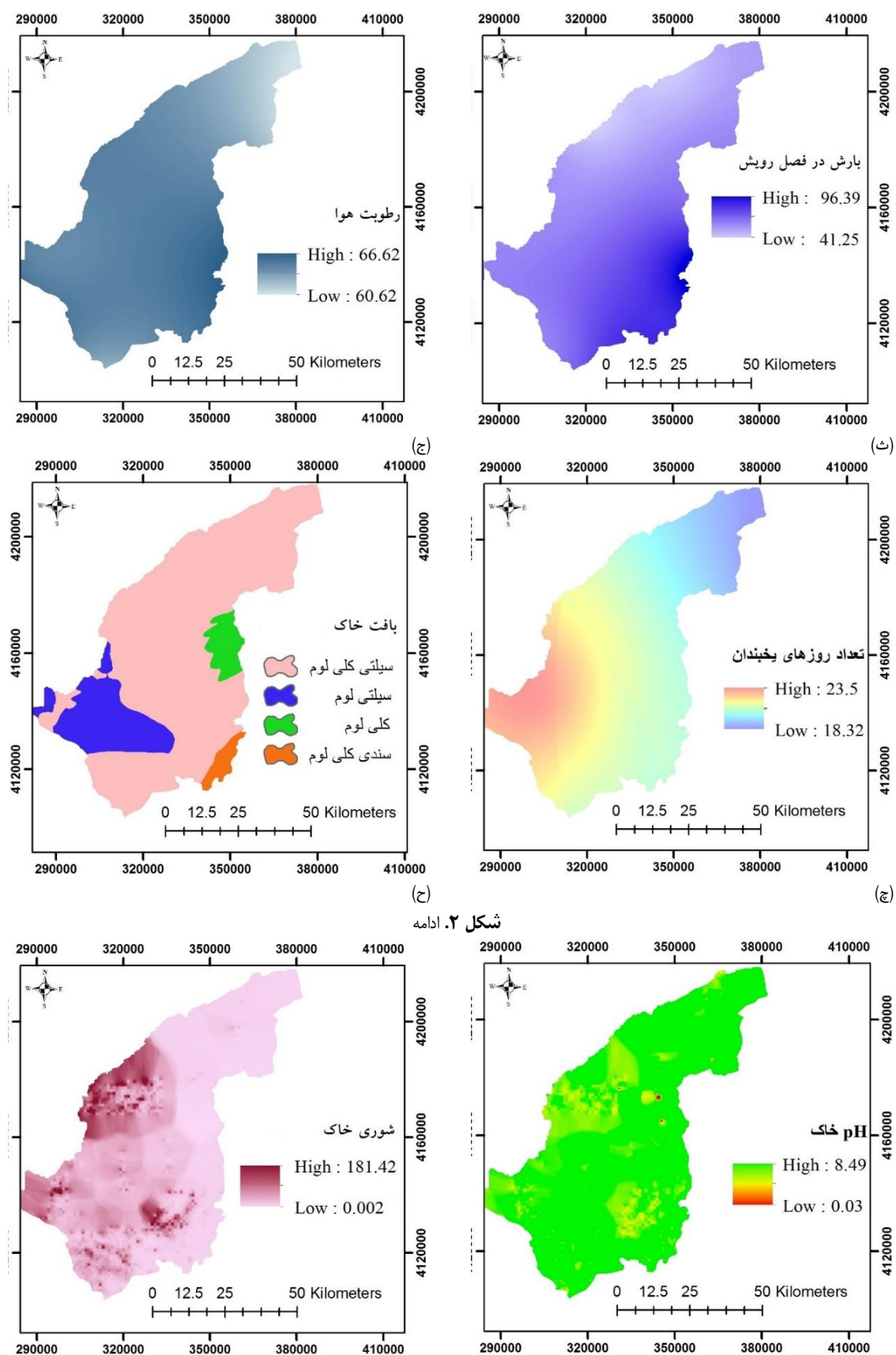
که در این رابطه X_{ij} مقدار i امین آلترناتیو در رابطه با j امین عامل و W_j وزن استاندارد شده است به‌صورتی که مجموع وزن‌ها برابر با یک باشد. مجموع وزن‌ها، اهمیت نسبی هر معیار یا عامل را نشان داده و آلترناتیو ارجح با تعریف مقدار بیشینه A_i ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) انتخاب می‌شود (Karam, 2004). همچنین در این مطالعه برای استانداردسازی داده‌ها از روش

فازی استفاده شد. فرآیند استانداردسازی در روش فازی، از طریق بازقالب‌بندی ارزش‌ها، به شکل یک مجموعه عضویت اجرا می‌شود. با استانداردسازی داده‌ها، مقادیر ارزشی لایه‌ها در دامنه‌ای یکسان بین صفر تا ۲۵۵ تبدیل گردید. پس از آنکه معیارهای ارزیابی به مقیاس‌های قابل مقایسه و استاندارد تبدیل شدند، وزن و اهمیت نسبی هر یک از آن‌ها در رابطه با هدف موردنظر تعیین شد تا در هنگام جمع نمودن لایه، ضریب اهمیت هر لایه اعمال شود (Saaty, 2008).

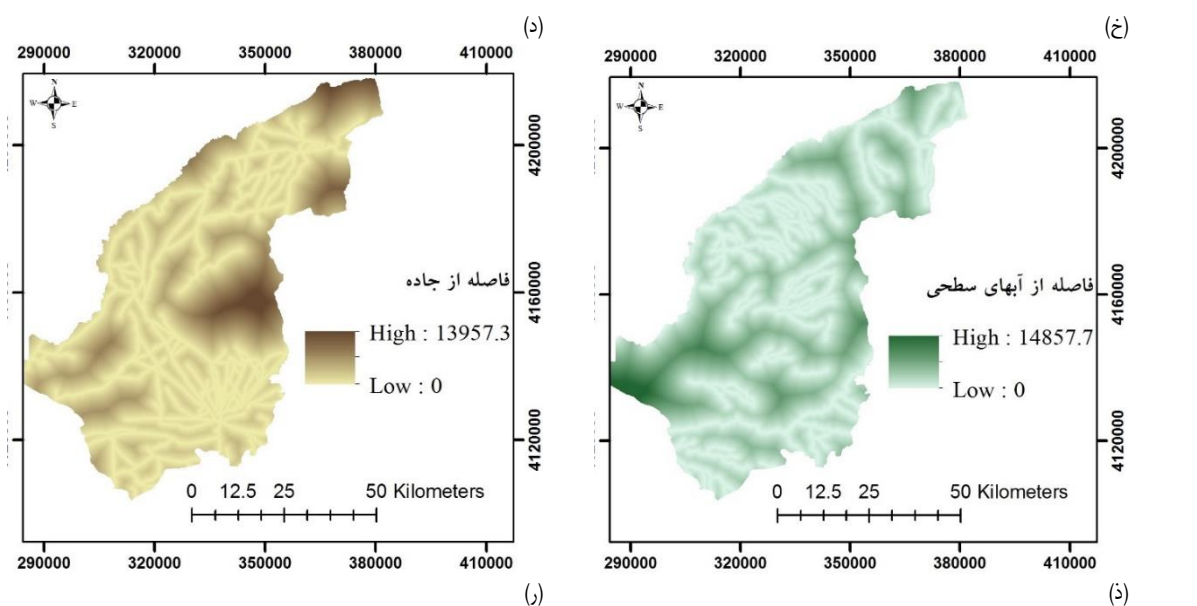
برای تعیین درجه دقت و صحت وزن‌دهی از شاخص سازگاری استفاده می‌شود که بر مبنای رویکرد بردار ویژه تئوری گراف محاسبه می‌گردد (Saaty, 2008). چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر از آن باشد، وزن‌دهی صحیح بوده، در غیر این صورت، وزن‌های نسبی داده‌شده به معیارها بایستی تغییر یابند و وزن‌دهی مجدداً انجام شود. پس از تعیین وزن هر معیار، ارزیابی چند معیاری در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از عملیات هم‌پوشانی و تابع اجتماع انجام شد و نقشه پتانسیل اراضی به منظور انجام زراعت چوب با گونه پده به‌دست آمد. پس از تولید نقشه نهایی، نتایج بر اساس شاخص‌های مختلف مورد تفسیر قرار گرفتند. مناطق با امتیاز بالاتر به‌عنوان نواحی بسیار مناسب برای زراعت چوب شناسایی شدند.



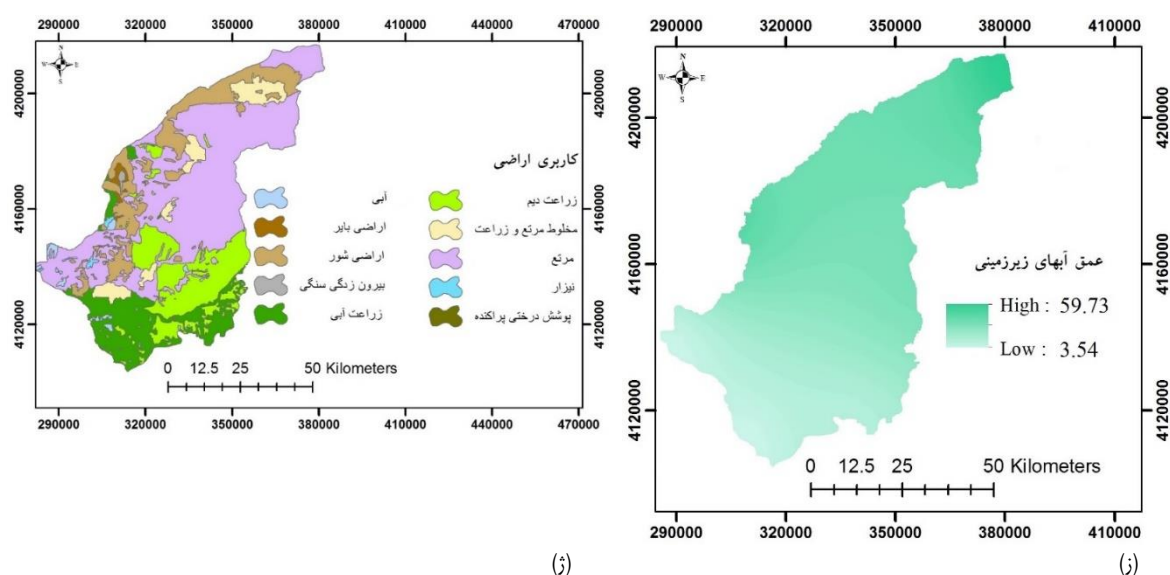
شکل ۲. نقشه عوامل مؤثر بر زراعت چوب با گونه پده (الف: کمینه دما، ب: میانگین دمای سالانه، پ: بیشینه دما، ت: بارش سالانه، ث: بارش در فصل رویش، ج: میانگین رطوبت هوای سالانه، چ: تعداد روزهای یخبندان، ح: بافت خاک، خ: pH خاک، د: شوری خاک، ذ: فاصله از آب‌های سطحی، ر: فاصله از جاده، ز: عمق آب‌های زیرزمینی، ژ: کاربری منطقه)



شکل ۲. ادامه



شکل ۲. ادامه



شکل ۲. ادامه

نتایج و بحث

میزان بارش سالانه بیشترین وزن را در بین عوامل مورد بررسی به دست آورد. بر این اساس وزن بارش برابر ۰/۱۷۶۷ محاسبه شد (جدول ۱). بیشترین دماهای کمینه، میانگین سالانه و بیشینه در بخش‌های شمال غربی شهرستان گنبدکاووس ثبت شده است. بیشینه دمایی منطقه، چهارمین عامل مؤثر در تعیین تناسب اراضی برای گونه مورد نظر در منطقه شناخته شد (جدول ۱). اراضی مستقر در شمال غربی شهرستان نیز بیشترین دوره‌های یخبندان سالانه را تجربه کرده‌اند. از نظر درصد رطوبت نسبی نیز همه مناطق از یک درصد رطوبت هوای بالای ۶۰ درصد برخوردار بوده‌اند.

جدول ۱. وزن عوامل مؤثر بر توسعه زراعت چوب با گونه پده در گنبد کاووس بر اساس ماتریس مقایسات زوجی

عوامل محیطی و انسانی	وزن عوامل جهت توسعه زراعت چوب با پده
میانگین کمینه دمای سالانه	۰/۰۴۲۹
میانگین دما سالانه	۰/۰۸۲۵
میانگین بیشینه دمای سالانه	۰/۰۹۱۵
میزان بارش سالانه	۰/۱۷۶۷
میزان بارش در فصل رویش	۰/۱۵۷۲
میانگین رطوبت هوای سالانه	۰/۰۱۹۲
تعداد روزهای یخبندان	۰/۰۵۶۲
بافت خاک	۰/۰۲۶۸
pH خاک	۰/۰۲۱۴
شوری خاک	۰/۰۴۲۴
فاصله از آب‌های سطحی	۰/۱۵۶۷
لایه عمق آب‌های زیرزمینی	۰/۰۹۱۷
فاصله از جاده	۰/۰۱۶۸
کاربری منطقه	۰/۰۱۸۰

همچنان که از نتایج برمی‌آید، وزن لایه اقلیمی بیش از سایر عوامل بود که این لایه را به مهم‌ترین عامل در موفقیت زراعت چوب تبدیل می‌کند. یافته‌های Eusemann et al (۲۰۱۳) در رابطه با نقش بالایی لایه‌های اقلیمی در سازگاری و استقرار گونه پده در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور چین با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. مطابق نقشه‌ها می‌توان عنوان کرد زراعت چوب در بخش‌های شمالی و شمال غربی شهرستان که نواحی مرزی استان گلستان نیز می‌باشد همچنان با چالش جدی کاهش بارش مواجه می‌باشد. برخلاف این نواحی، مناطق واقع در جنوب شهرستان به علت نزدیکی به جنگل‌های هیرکانی و وجود اقلیم معتدله، از شرایط بسیار مناسبی برای زراعت چوب برخوردار است. محدودیت بارش در نواحی شمالی اراضی مورد بررسی، برای گونه پده نیز یک عامل محدود کننده جدی به حساب می‌آید. به طور معمول مطالعات نشان می‌دهد که خانواده صنوبر نیاز آبی بالایی دارند (Asadi, 2019). در بین گونه‌های مختلف صنوبر، گونه پده در مناطق خشک کشور پراکنش مناسبی دارد (Calagari, 1997). اگرچه نسبت به سایر گونه‌های صنوبر گونه پده به اقلیم خشک و نیمه خشک با تشعشع حرارتی بالا، دمای بالا، تبخیر زیاد و بارندگی کم سازگار است، اما این مسئله تنها در شرایطی امکان‌پذیر است که نیاز آبی پده از راه‌های دیگر نظیر نزدیکی به منابع آبی سطحی و زیرسطحی برطرف شود (Calagari, 1997; Bagheri et al, 2012). Calagari (۲۰۱۸، ب) اشاره دارد که اگرچه درخت پده در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌خوبی رشد می‌کند اما این بدان معنی نیست که بتواند در رویشگاه‌هایی که منابع آبی غیرقابل دسترس است، رشد کند. میزان بارش سالانه شهرستان گنبد کاووس حدود ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد که با حرکت به سمت شمال و شمال غربی شهرستان (نوار شمالی استان گلستان) از میزان بارش به‌شدت کاسته می‌شود. به‌طوری‌که در برخی از سال‌ها بارش سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر نیز ثبت شده است. محدودیت بارش در نواحی شمالی اراضی مورد بررسی، برای گونه پده نیز یک عامل محدودکننده جدی به حساب می‌آید. به‌طور معمول مطالعات نشان می‌دهد که خانواده صنوبر نیاز آبی بالایی دارند (Asadi, 2019). در بین گونه‌های مختلف صنوبر، گونه پده در مناطق خشک کشور پراکنش مناسبی دارد (Calagari et al, 1997). اگرچه نسبت به سایر گونه‌های صنوبر، پده به اقلیم خشک و نیمه‌خشک با تشعشع حرارتی بالا، دمای بالا، تبخیر زیاد و بارندگی کم سازگار است، اما این مسئله تنها در شرایطی امکان‌پذیر است که نیاز آبی پده از راه‌های دیگر نظیر نزدیکی به منابع آبی سطحی و زیرسطحی تأمین شود (Calagari et al, 1997; Bagheri et al, 2012). لیکن با توجه به آن‌که در طرح‌های زراعت چوب هدف اول، افزایش قطر و ارتفاع و در نهایت تولید چوب با حجم بالا می‌باشد، لذا رشد توده پده نیز با میزان آب در دسترس در منطقه

ارتباط بسیار نزدیک دارد. امکان آبیاری با منابع آبی ذکر شده بستگی به موقعیت این اراضی دارد، که در بخش ارتباط تناسب اراضی با دوری و نزدیکی به این منابع، به صورت جداگانه به این موضوع پرداخته خواهد شد. Calagari (۲۰۱۸، ب) اشاره دارد که اگرچه درخت پده در مناطق خشک و نیمه خشک به خوبی رشد می کند اما این بدان معنی نیست که بتواند در رویشگاه هایی که منابع آبی غیرقابل دسترس است، رشد کند. البته باید این نکته را نیز مدنظر قرار داد که آبیاری فراتر از نیاز آبی، علاوه بر صرف هزینه آب بها و آبیاری، ازدیاد علف هرز و هزینه های وجین بیشتر را نیز به دنبال خواهد داشت.

میانگین درصد رطوبت سالانه در شهرستان گنبد کاووس کمتر از ۶۰ درصد نبوده است. این نتیجه نشان دهنده آن است که میزان رطوبت به عنوان عامل محدود کننده زراعت چوب با پده نمی باشد. همچنان که وجود دوره های یخبندان برای گونه پده نیز مشکلی ایجاد نمی کند (Aljubouri & Alobaidi, 2023; Deacon et al., 2019) و در مقایسه با گونه ای نظیر اوکالیپتوس مقاومت بسیار بالاتری از خود نشان می دهد (Butnor et al, 2019). در همین رابطه نشان داده شده است که گونه پده سرمایه های زیر صفر را برای دوره های نسبتاً طولانی تحمل می کند (Calagari, 2018b).

دمای هوا یکی دیگر از عوامل مؤثر بر مدل تناسب اراضی برای گونه پده می باشد. این نتیجه با یافته های Shao et al (۲۰۲۴) مبنی بر اهمیت دما در رویش بهینه توده های پده، هم خوانی دارد. ایشان اشاره کرده اند که تسلط دماهای بالا برای یک دوره طولانی محدودیت های فیزیولوژیک متعددی در رویش سالانه گونه پده پدید می آورد. بخش های بزرگی از مناطق غربی و شمالی شهرستان گنبد کاووس دارای بیشینه دمایی بالای ۴۰ درجه سانتیگراد برای دوره های درازمدت از فصل خشک می باشد. مطالعات نشان می دهد که پده مقاومت بالایی در برابر دماهای بالا از خود نشان داده است (Wang et al, 2019; Martins et al, 2022)، لیکن بالا بودن دوره های با گرمای شدید، رشد قطری و ارتفاعی گونه را محدود می کند (Rawal et al, 2017; Ellsworth et al, 2017; Dawalibi et al, 2015; et al, 2015). از آن جا که هدف از بررسی حاضر، مکان یابی مناطقی است که این گونه ها پتانسیل بالاتری جهت زراعت چوب از خود نشان دهند، لذا در صورت نبود شرایط آبی بهینه، دما عامل محدود کننده جدی می تواند به حساب آید (Rosso et al, 2023). دماهای بالا تبخیر و تعرق را افزایش می دهند. اگر آب خاک به اندازه کافی در دسترس نباشد، درخت دچار تنش آبی می شود. این شرایط باعث بسته شدن روزنه های برگ می شود که علاوه بر کاهش تعرق، فتوسنتز را نیز محدود می کند. بسته شدن روزنه ها منجر به کاهش جذب دی اکسید کربن می شود، که فتوسنتز و تولید زی توده (از جمله چوب) را به شدت کاهش می دهد (Allen et al, 2010). در دماهای بالا، تولید و توزیع لیگنین، ماده ای که به چوب استحکام می بخشد، تحت تأثیر قرار می گیرد. این کاهش تولید لیگنین می تواند باعث ضعف ساختاری درختان شود. دماهای بالا می توانند رشد ریشه را محدود کنند، که به کاهش توانایی درخت برای جذب آب و مواد مغذی می انجامد (Williams et al, 2013). کاهش تولید مثل و جوانه زنی نیز از دیگر اثرات دماهای بسیار بالا است که در بلندمدت پایداری توده سرپا را تهدید می کند (Allen et al, 2010).

همان طور که نتایج نشان می دهد بیشتر سطح خاک منطقه دارای بافت خاک سیلتی کلی لوم و سیلتی لومی با یک مقدار pH بین ۷ تا ۸/۳ می باشد که برای رشد پده مناسب می باشد. لذا می توان بیان کرد بافت خاک و pH منطقه، عاملی محدود کننده در توسعه زراعت چوب با گونه مورد بررسی نمی باشد. در بین عوامل خاکی، شوری بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است (۰/۰۴۲۴). بنابر نتایج بیشتر سطح شهرستان دارای شوری کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر می باشد.

بافت خاک یکی از خصوصیات مهم جهت تعیین تناسب اراضی برای زراعت چوب می باشد. بخش های زیادی از منطقه مورد مطالعه تحت نفوذ خاک سیلتی کلی لوم و سیلتی لومی قرار دارد که هر دو بافت خاک، جهت توسعه کشاورزی و زراعت چوب مناسب می باشد. ترکیب متناسب از ذرات خاک در این دو بافت سبب می شود، در صورت بارش مناسب و اجرای آبیاری اصولی، رطوبت خاک که مهم ترین عامل وابسته به بافت خاک می باشد به صورت بهینه ای در اختیار لایه های مختلف خاک قرار گیرد. هرچه میزان رس خاک بیشتر باشد، نفوذ آب کندتر و محدوده بدنه مرطوب کمتر می شود، که به نوبه خود باعث افزایش محتوای آب خاک و حفظ آب خاک می شود (Wang et al, 2021).

pH خاک نیز مانند بافت خاک وزن بالایی در مدل‌سازی نشان نداد. در مطالعه حاضر pH خاک در محدوده قلیایی و بین ۷ تا ۸/۳ بود، لیکن از آن جا که هر سه گونه مورد نظر در این محدوده pH رشد مناسبی دارند، لذا pH ثبت شده، محدودیت خاصی برای زراعت چوب در منطقه ایجاد نمی‌کند. مطالعات Xu et al (۲۰۲۰) نشان می‌دهد در pH بیشتر از ۷، به علت کاهش جذب عناصر غذایی خاک، رشد درختان پده کاهش پیدا می‌کند.

از نظر عوامل فرعی خاک، شوری بیشترین اهمیت را داشت. در این رابطه، مطالعات Huang et al (۲۰۲۲)، نتایج تحقیق حاضر مبنی بر اهمیت این متغیر در توسعه برنامه‌های زراعت چوب با گونه پده را مورد تأیید قرار می‌دهد. ایشان اشاره کرده‌اند اگرچه پده گونه‌ای مقاوم به شوری می‌باشد، لیکن شوری خاک بیش از حد، جذب عناصر ماکرو و میکرو مورد نیاز پده را با چالش‌های جدی مواجه کرده و می‌تواند رویش چوبی را محدود کند. اگرچه پده به عنوان یکی از گونه‌های بردبار به شوری در استان مطرح می‌باشد، اما تاکنون میزان رویش قطری و ارتفاعی آن در تیمارهای مختلف شوری مورد آزمایش قرار نگرفته است. مطالعات اشاره دارند که تحمل پده در برابر شوری خاک بیش از اکالیپتوس کامالدولنسیس و هم‌رده با گونه‌ای نظیر گز شاهی در رده بسیار مقاوم می‌باشد (Rad & Khosroshahi, 2020).

وزن فاصله از آب‌های سطحی برابر ۰/۱۵۶۷ و همچنین وزن لایه عمق آب‌های زیرزمینی ۰/۰۹۱۷ بوده است که نشان دهنده اهمیت بالای این دو عامل علی‌الخصوص آب‌های سطحی در توسعه زراعت چوب پده می‌باشد. در راستای یافته‌های این تحقیق، نتایج مطالعه Lang et al (۲۰۱۶) مبنی بر اهمیت حفاظت و مدیریت از توده‌های پده از طریق دسترسی به آب‌های سطحی و زیرسطحی، با این بخش از مطالعه مطابقت نشان می‌دهد. به لحاظ جریان‌های سطحی، دو رودخانه گرگان رود و اترک در بخش‌هایی طولانی از شهرستان گنبد کاووس امتداد یافته است که هر کدام دارای دبی بالای ۳۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشند. سرریز شدن رودخانه چهل‌چای شهرستان مینودشت به گرگان‌رود نیز نقش مهمی در تأمین آبی این رودخانه ایفا می‌کند. همچنین وجود رودخانه‌های فصلی نظیر ایرام‌شالی و قره‌تکن را نیز می‌بایست در این میان در نظر داشت. لذا بخش‌های زیادی از اراضی مستعد این شهرستان فاصله مطلوبی با جریان‌های آبی دارند. همچنین سطح سفره آب‌های زیرزمینی در بخش‌هایی از این شهرستان به ویژه در نواحی حاشیه‌ای نزدیک به خود شهر، بالا می‌باشد که در صورت مدیریت درست می‌تواند آب مورد نیاز بخش‌های زیادی از اراضی زراعت چوب را تأمین کند. فاصله از منابع آبی تأثیر مستقیمی بر نیاز آبی و موفقیت پروژه‌های زراعت چوب دارد. در مناطقی با فاصله زیاد از منابع آبی، تأمین این نیاز دشوار است و به کاهش رشد و تولید چوب منجر می‌شود. دوری از منابع آبی هزینه‌های انتقال آب را افزایش می‌دهد. این هزینه‌ها شامل ساخت و نگهداری زیرساخت‌های آبیاری، مصرف انرژی برای پمپاژ و انتقال آب، و تلفات آب در طول مسیر است (Peyrov et al, 2017).

نزدیکی به جریان‌های سطحی و وجود آب‌های زیرزمینی از دیگر عوامل مؤثر بر تعیین مکان‌های مناسب جهت توسعه زراعت چوب بوده است. مکان‌های اطراف رودخانه‌های فصلی و دائمی و مناطقی که دارای سطح آب زیرزمینی بالایی هستند، می‌توانند با کمترین زمان و هزینه ممکن نیاز آبی گونه‌های چوب‌ده را برطرف نمایند. این مسئله، در سال‌های ابتدایی، به ویژه در مناطق نیمه خشک و خشک از اهمیت بالایی برخوردار است. در مورد صنوبر پده مطالعه مشخصی در مورد نیاز آبی انجام نشده است، لیکن مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که از نیاز آبی بالایی برخوردار است. پراکنش طبیعی پده در نواحی شمال استان گلستان، محدود به اطراف رودخانه اترک می‌باشد. جایی که به واسطه نزدیکی به جریان‌های سطحی و برخورداری از وقوع سیلاب‌های سالانه، پده با تنش خشکی کمتری مواجه می‌شود. در نواحی دورتر از رودخانه اترک، پده تنها در شکاف دره‌ها مستقر شده است و در فواصل دورتر و با فاصله بیشتر از رودخانه، پایه پده مشاهده نمی‌شود. در نواحی شمالی عرصه مورد بررسی جریان آب سطحی و زیرسطحی قابل اتکایی وجود ندارد، لذا با توجه به حساسیت گونه پده به تأمین نیاز آبی، عملاً زراعت چوب با این گونه در این مناطق میسر نمی‌باشد. لیکن با حرکت به سمت مرکز شهرستان گنبد کاووس و فاصله گرفتن از اراضی شمالی و نواحی هم‌مرز با کشور ترکمنستان، جریان آب‌های زیرزمینی، حتی به صورت شور می‌تواند برای

توسعه زراعت چوب به ویژه برای گونه پده مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات نشان می‌دهد، رشد حجمی پده در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مربع، بدون محدودیت خاص و عوارض جانبی ادامه پیدا کرده است (Ohrtman et al, 2012; Cao et al., 2020; Wang et al, 2021). بسیاری از اراضی قابل کشت در شهرستان گنبد کاووس و حتی برخی از مناطق مستقر در غرب و شمال شهرستان که به نسبت از خشکی بیشتری برخوردار هستند، دارای سطح آب زیرزمینی بالایی می‌باشند. وجود این منابع آبی در صورت مدیریت بهینه می‌تواند به توسعه زراعت چوب در منطقه کمک نماید.

میزان جاده‌های مواصلاتی مورد بررسی در تحقیق حاضر بیش از ۱۵۰۰ کیلومتر می‌باشد. نسبت به سایر عوامل، فاصله از جاده وزن بالایی در تعیین اراضی مناسب جهت زراعت چوب نداشت (جدول ۱). فاصله از جاده، امکان زراعت چوب را تسهیل کرده و با دسترسی آسان، میزان هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. از آن جا که توجه به سرشت اکولوژیک گونه‌ها و وجود محدودیت‌های محیطی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر موفقیت یا عدم موفقیت طرح‌های زراعت چوب در هر منطقه‌ای می‌باشد لذا منطقی به نظر می‌رسد که در مقایسه با سایر عوامل، فاصله از جاده از وزن بالایی برخوردار نباشد.

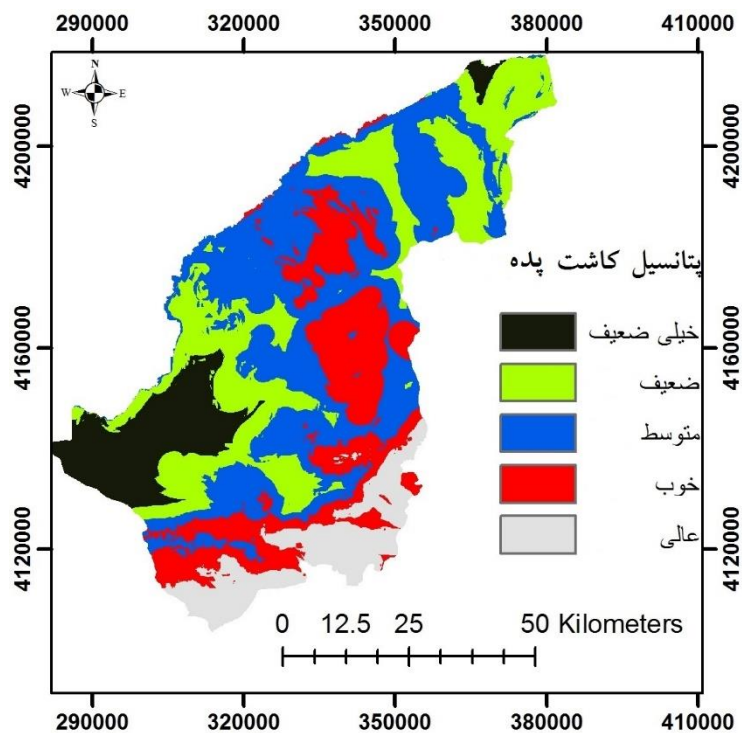
مسئله‌ای که در خصوص فاصله از جاده می‌تواند مورد اشاره قرار گیرد این است که در مواردی که بارندگی بسیار کم بوده و جهت جلوگیری از خشکیدگی نهال‌ها نیاز به آبیاری با تانکر حس می‌شود، در این صورت فاصله زیاد از جاده‌های اصلی و محل آبیاری می‌تواند باعث افزایش بالای هزینه‌ها گردد. ضمن اینکه مطمئناً هزینه‌های تردد برای رسیدگی به نهال‌ها به عبارتی کاشت، داشت و برداشت نهال‌کاری‌های موجود، با افزایش فاصله بسیار بالا خواهد رفت و بیان اقتصادی طرح‌های زراعت چوب را به شدت کاهش خواهد داد. که در پژوهش حاضر مطمئناً بیان اقتصادی در مناطق شمال و شمال شرقی از لحاظ تردد مناسب نخواهد بود.

لایه‌های کاربری مورد بررسی در شهرستان شامل لایه‌های آبی، نی‌زار، اراضی بایر، بیرون‌زدگی سنگی، اراضی شور، مخلوط مراتع و زراعت، زراعت آبی، زراعت دائم، مرتع و پوشش درختی پراکنده می‌باشد. در بین انواع کاربری اراضی مناطق واجد زراعت آبی، مخلوط مراتع و زراعت و همچنین اراضی پراکنده درختچه‌ای و درختی بیشترین وزن درون لایه‌ای را جهت توسعه زراعت چوب دربرداشتند. کاربری‌های زراعی به دلیل وجود سیستم‌های آبیاری و خاک مناسب، می‌توانند به زراعت چوب اختصاص یابند. اما باید در نظر داشت که زراعت چوب در این اراضی می‌تواند با تعارضات اقتصادی و اجتماعی مواجه شود. لذا اجرای برنامه‌های زراعت چوب در این اراضی تنها در صورت تدوین برنامه اقتصادی جذاب، آموزش و آگاهی‌بخشی و ارائه تسهیلات مشارکتی امکان‌پذیر است. همچنین اراضی شمال شهرستان عمدتاً به صورت مراتع با کیفیت پایین یا اراضی شور می‌باشند. همچنان که پیش‌تر بیان شد، امکان زراعت چوب بدون محدودیت رویشی و عوارض جانبی خاص در اراضی شور، پده در شوری حدود ۶ دسی‌زیمنس بر متر مربع فراهم است (Sadeghzadeh Hallaj et al, 2015). اراضی بایر و بیرون‌زدگی سنگی به دلیل کمبود مواد آلی و باروری پایین خاک، برای زراعت چوب مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. در سایر اراضی این محدوده، معمولاً زراعت جنبه اقتصادی مقرون به صرفه ندارد، مگر آن که به جهت ایجاد کمربند سبز و کنترل گرد و غبار به صورت محدوده جنگل‌کاری با این گونه‌ها انجام گیرد. قابل ذکر است بعد از تعیین اراضی مناسب جهت کشت هرگونه در نقشه نهایی، جهت اجرای پروژه‌های زراعت چوب، بخش‌های کاربری انسانی از محدوده نقشه کنار گذاشته می‌شود.

ماتریس مقایسات زوجی بین عوامل مؤثر بر توسعه زراعت چوب در شهرستان گنبد کاووس نشان می‌دهد که متغیرهای اقلیمی از نقش مهم‌تری برخوردار هستند (جدول ۱). در بین عوامل خاکی نیز از شوری خاک عاملی محدود کننده به ویژه در بخش‌های شمال غربی شهرستان می‌باشد. سایر عوامل مورد بررسی نظیر فاصله از جاده یا کاربری نیز امتیاز کمتری داشتند. نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی برای گونه پده برابر ۰/۰۷ می‌باشد که دقت نتایج را تأیید می‌نماید.

همچنان که نقشه نهایی پتانسیل زراعت چوب برای گونه پده نشان می‌دهد، مناطق شمال غربی و شمالی شهرستان گنبد کاووس که واقع در نوار شمالی استان گلستان می‌باشد، وضعیت مناسبی برای توسعه کشت این گونه ندارند (شکل ۳). با توجه به توضیح شرایط اقلیمی و خاکی مناطق شمال غربی و شمالی که همراه با تنش‌های خشکی شدید و خاک شور می‌باشد،

خروجی نقشه‌ها با واقعیت منطقه منطبق می‌باشد بر این اساس می‌توان عنوان کرد زراعت چوب با گونه پده با حرکت به سمت بخش‌های جنوبی، موفق‌تر به نظر می‌رسد.



شکل ۳. پهنه‌بندی پتانسیل زراعت چوب با گونه پده در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف مکان‌یابی مناطق مستعد کاشت گونه پده در گنبدکاووس انجام شده است. همان‌طور که نقشه‌های اقلیمی پژوهش حاضر نشان می‌دهد قسمت‌های شمال‌غربی و غرب شهرستان گنبدکاووس شامل شهر اینچه برون میزان بارش پایینی دارد. البته در این خصوص می‌توان اضافه کرد که با وجود اینکه رود بزرگ اترک از این مناطق عبور می‌کند در صورت دبی مناسب این رود ظرفیت نهال‌کاری در این قسمت‌ها را بالا می‌برد. ولی در حالت کلی با توجه به نقشه‌های اقلیمی به دست آمده بر اساس داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله در پژوهش حاضر، از جمله کمینه و بیشینه دما و بارندگی بیانگر شرایط مناسب اقلیمی در قسمت‌های جنوبی شهرستان می‌باشیم. نقشه‌های به دست آمده از فاصله از آب‌های سطحی و عمق آب‌های زیرزمینی نیز شرایط را در این مناطق مناسب‌تر از مناطق شمالی این شهرستان نشان می‌دهد. در حالت کلی با توجه به نیاز آبی بالاتر گونه پده پیشنهاد می‌گردد که این گونه در مناطق با تناسب اراضی خیلی ضعیف و ضعیف که عمدتاً تنش خشکی بسیار بالایی دارد کشت نشود. به عبارت دیگر با عبور از این مناطق به سمت قسمت‌های مرکزی و جنوبی این شهرستان شرایط برای گونه پده مناسب‌تر است. نقشه تناسب اراضی زراعت چوب نیز به خوبی بیانگر شرایط مناسب گسترش زراعت چوب در مناطق جنوبی و مناطق مرکزی شامل محدوده حوزه ماسان و حاجی قوشان می‌باشد. مسئله مهمی که شرایط زراعت چوب را در محدوده مرزی و علی‌الخصوص مناطق شمال‌غربی دشوار می‌کند، مسئله شوری خاک در این قسمت است که بر اساس نظر کارشناسان نیز این پارامتر دارای وزن تأثیرگذاری به جهت زراعت چوب می‌باشد. قابل ذکر است محدودیت پده برای کاشت در اراضی رو به شمال، بیشتر تحت تأثیر خشکی که مهم‌ترین چالش رویشی این مناطق است، به وجود آمده است. به

ویژه آن که پده در مناطق خشکی و نیمه خشک به صورت طبیعی در مناطقی رویش دارد که آب سطحی یا زیر سطحی نزدیک به منطقه کشت عبور کرده است یا این که به جهت شرایط توپوگرافی ایجاد شده و وجود دره‌ها، امکان رویش پده در شکاف دره‌ها وجود دارد. هیچ کدام از شرایط ذکر شده در این مناطق مناسب توسعه گونه پده نمی‌باشد.

بر اساس مطالب ذکر شده پیشنهادهای ذیل ارائه می‌گردد:

تمرکز برنامه‌های زراعت چوب شهرستان گنبد کاووس در بخش‌های با توان خوب و عالی منطبق با نقشه تهیه شده از آن‌جا که بخش‌های زیادی از پوشش خاکی منطقه مورد مطالعه به صورت لس می‌باشد، در زمان بارندگی، میزان نفوذ آب در این مناطق بسیار پایین بوده و وقوع بارش، به سرعت منجر به تولید رواناب می‌شود. این روان آب‌ها معمولاً در موقعیت‌های تپه‌ماهوری منطقه، در قسمت پایین شیب جمع تجمع پیدا می‌کند. لذا انجام طرح‌های زراعت چوب در شیب پایین اراضی تپه‌ماهوری، به علت مناسب بودن شرایط رطوبتی خاک و کاهش تنش خشکی نسبت به اراضی اطراف، از شانس موفقیت بالاتری برخوردار خواهد شد. قابل ذکر است اراضی تپه‌ماهوری به صورت پراکنده و گسترده در تمامی بخش‌های شمالی گنبد کاووس وجود دارد.

بوته‌کاری در اراضی نامناسب جهت زراعت چوب به منظور حفظ رطوبت، ماده آلی، خاکدانه و جلوگیری از تولید گرد و غبار تأمین نهال مورد نیاز جهت توسعه زراعت چوب. یکی از گام‌های اساسی برای ترغیب کشاورزان به مشارکت در برنامه‌های زراعت چوب، ارائه نهال‌های استاندارد با یارانه است. این رویکرد می‌تواند بخشی از هزینه‌های اولیه کشاورزان را کاهش داده و تمایل آن‌ها به کاشت گونه‌های درختی را افزایش دهد. این امر می‌تواند به عنوان یک سیاست حمایتی جهت توسعه زراعت چوب در مناطق مستعد عمل کند. این یارانه‌ها باید متناسب با گونه‌های درختی موردنظر، شرایط اقتصادی کشاورزان، و نیازهای منطقه‌ای طراحی شود.

تسهیلات جهت توسعه و نصب سامانه‌های صرفه‌جویی آب در کرت‌های زراعت چوب. در این راستا، استفاده از سامانه‌هایی مانند آبیاری قطره‌ای، آبیاری زیرسطحی، آبیاری هوشمند، استقرار مالچ‌های طبیعی و مصنوعی و همچنین ایجاد بندسارها و سوما که نوعی سامانه سنتی جمع‌آوری آب باران در منطقه می‌باشد، می‌تواند کمک قابل توجهی در صرفه‌جویی و بهینه‌سازی آبیاری نماید.

بیمه محصولات زراعت چوب در برابر حوادث طبیعی و همچنین آفات و بیماری
پیش‌خرید محصولات چوبی توسط کارخانه‌های تخته خرده چوب و پرداخت هزینه‌های انجام شده به مالکان و خرده مالکان
در طول سال، به منظور رقابت محصولات چوبی با محصولات کشاورزی

سپاسگزاری

این پژوهش، بخشی از یافته‌های پروژه سفارشی «ارائه نقشه پتانسیل زراعت چوب در شهرستان گنبد کاووس در چارچوب مدل ترکیب خطی وزنی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی» مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران، با حمایت سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گلستان و با شماره ۵۷-۰۹-۰۷۲-۰۲۰۸۹۱-۴ است، بنابراین از همه دست‌اندرکاران اجرای پروژه مزبور، صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Aher, P.D., Adinarayana, J., & Gorantiwar, S.D. 2014. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511, 850–860.

- Ahlawat, K.S., Daneva, V., Sirohi, C., & Dalal, V. 2019. Production potential of agricultural crops under Eucalyptus tereticornis based agrisilviculture system in semi-arid Region of Haryana. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 8 (06), 2725–2731.
- Ahmadloo, F. (2019). Determination of susceptible lands of wood farming in non-forest lands in northern provinces of the country. Final report, Research Institute of Forests and Rangelands, 72 pp. (In Persian)
- AL-Dulaimi, G.A., & Younes, M.K. 2017. Assessment of potable water quality in Baghdad city, Iraq. *Air, Soil and Water Resources*, 10 pp.
- Aljubouri, S. A., & Alobaidi, K. H. (2023). Assessment of the antivirulence potential of *Tamarix aphylla* ethanolic extract against multidrug-resistant *Streptococcus mutans* isolated from Iraqi patients. *The Scientific World Journal*, 2023, 6662262.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., & Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259 (4), 660–684.
- Arvola, A., Malkamaki, A., Penttilä, J., & Toppinen, A. 2019. Mapping the future market potential of timber from small-scale tree farmers: perspectives from the Southern Highlands in Tanzania. *Small-scale Forestry*, 18 (2), 189–212.
- Asadi, F. (2019). Fundamentals of poplar wood farming. Research Institute of Forests and Rangelands press, 242 pp. (In Persian)
- Asadi, F., Espahbodi pardkolaei, K., & Sadati, S.E. (2019). Evaluation of technical defects of poplar farming in Mazandaran province. *Iranian Journal of Forest*, 11 (3), 401–414.
- Báder, M., Németh, R., Vörös, Á., Tóth, Z., & Novotni, A. (2023). The effect of agroforestry farming on wood quality and timber industry and its supportation by Horizon 2020. *Agroforestry Systems*, 97, 587–603.
- Bagheri, R., Ghasemi, R., Calagari, M., & Merrikh, F. (2012). Effect of different irrigation intervals on superior poplar clones yield. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3), 369–357. (In Persian)
- Butnor, J. R., Johnsen, K. H., Anderson, P. H., Hall, K. B., Halman, J. M., Hawley, G. J., Maier, C. A., & Schaberg, P. G. (2019). Growth, photosynthesis, and cold tolerance of *Eucalyptus benthamii* planted in the Piedmont of North Carolina. *Forest Science*, 65(1), 59–67.
- Calagari, M. (1997). Study of *Populus euphratica* OLFV. community in the margin of Karoon river. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 35(2), 20–25. (In Persian)
- Calagari, M. (2018a). Introduction of high wood production poplar clones for cultivation in the north of country. *Iran Nature*, 3(2), 50–58. doi: 10.22092/irn.2018.116436 (In Persian)
- Calagari, M. (2018b). Ecological characteristics of *Populus euphratica* in natural habitats of Iran and its potential use in wood farming. *Iran Nature*, 3(1), 22–30. doi: 10.22092/irn.2018.116112 (In Persian)
- Cao, Q., Yang, B., Li, J., Wang, R., Liu, T., & Xiao, H. (2020). Characteristics of soil water and salt associated with *Tamarix ramosissima* communities during normal and dry periods in a semi-arid saline environment. *CATENA*, 193, 104661.
- Deacon, N. J., Grossman, J. J., & Cavender-Bares, J. (2019). Drought and freezing vulnerability of the isolated hybrid aspen *Populus x smithii* relative to its parental species, *P. tremuloides* and *P. grandidentata*. *Ecology and Evolution*, 9, 8062–8074.
- Dong, L., Li, J., Zhang, Y., Bing, M., Liu, Y., Wu, J., Hai, X., Li, A., Wang, K., Wu, P., Shangguan, Z., & Deng, L. 2022. Effects of vegetation restoration types on soil nutrients and soil erodibility regulate-d by slope positions on the Loess Plateau. *Journal of Environmental Management*, 302, 113985.
- Ellsworth, D. S., Anderson, I. C., Crous, K. Y., Cooke, J., Drake, J. E., Gherlenda, A. N., Gimeno,

- T. E., Macdonald, C. A., Medlyn, B. E., Powell, J. R., Tjoelker, M. G., & Reich, P. B. (2017). Elevated CO₂ does not increase eucalypt forest productivity on a low-phosphorus soil. *Nature Climate Change*, 7, 279–282.
- Eshraghi, f., & Ghasemian, S. (2012). Evaluating Economic Productivity of Water Use (Case study: Golestan province). *Journal of Water Research in Agriculture*, 26 (3), 317–322. (In Persian)
- 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, 108621.
- Eusemann, P., Petzold, A., Thevs, N., & Schnittler, M. (2013). Growth patterns and genetic structure of *Populus euphratica* Oliv. (Salicaceae) forests in NW China – Implications for conservation and management. *Forest Ecology and Management*, 297, 27–36.
- Feikema, P.M., & Beiker, T.G. (2011). Effect of soil salinity on growth of irrigated plantation Eucalyptus in south-eastern Australia. *Agriculture and Water Management*, 98 (7), 1180–1188.
- Hadirad, M., Khosroshahi, M. (2020). Water requirement and drought tolerance threshold of some wood species to manage water consumption in forestry in arid and semi-arid areas. *National Conference on adaptation to drought*, 10 pp.
- Harman, B.I., Koseoglu, H., & Yigit, C.O. (2016). Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: a case study at the city of Isparta, Turkey. *Appl. Acoustics* 112, 147–157.
- Hembram, T.K., Paul, G.C., & Saha, S. 2019. Comparative analysis between morphometry and geo-environmental factor-based soil erosion risk assessment using weight of evidence model: a study on Jainti river basin, eastern India. *Environmental Processes*, 6 (4), 883–913.
- Hosseinizadeh kermani, M., Alijani, B., Hejazizadeh, Z. B., & Saligheh, M. (2022). Spatial Analysis of Pistachio Cultivates (Growth Period) in Iran. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 22(67), 1–24. (In Persian)
- Huang, G., Sun, Y., Zhang, X., Gutiérrez Rodríguez, L., Luo, J., Chen, Z., Ou, Y., Gao, Y., Ghaffari, H., & Yao, Y. (2022). Adaptation to low nitrogen and salt stresses in the desert poplar by effective regulation of nitrogen assimilation and ion balance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 193, 14–24.
- Jaimes, N.B.P., Sendra, J.B., Delgado, M.G., Plata, R.F., N´emiga, X.A., & Solís, L.R. 2012. Determination of optimal zones for forest plantations in the state of Mexico using multicriteria spatial analysis and GIS. *Journal of Geography and Information System*, 4 (3), 204–218.
- Karam, A. A. (2004). The application of the weighted linear combination (WLC) model in zoning the potential for landslides, a case study; Serkhon region in Chahar Mahal and Bakhtiari province. *Geography and Development*, 2(4 series), 131–146.
- Karami, M., & Sarvestan, R. (2022). Locate solar panels using climate indices and GIS (Case study: Khuzestan). *Journal of Environmental Science and Technology*, 24 (2, 117), 169–180.
- Khalili, S., Soltaninejad, H., & Tavakolinia, J. (2019). Evaluating the Ecological Capability of Agriculture in Estahban County. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(2), 265-280. doi: 10.22059/ijaedr.2018.259880.668614 (In Persian)
- Khanamani, A., & Bamerinejad, F. (2020). Locating Potential Sites for Species (*Ammodendron persicum*) in Southern Kerman province, Using AHP Method. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(27), 67-78. SID. <https://sid.ir/paper/389208/en> (In Persian)
- Kordrostami, F., Attarod, P., Abbaspour, K.C., Ludwig, R., Etemad, V., Alilou, H., & Bozorg-Haddad, O. 2021. Identification of optimum afforestation areas considering sustainable management of natural resources, using geo-environmental criteria. *Ecological Engineering*, 168, 106259, 1–10.
- Kumar, V. 2019. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: a meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analysis. *Chemosphere*, 236 pp.
- Lang, P., Ahlborn, J., Schäfer, P., Wommelsdorf, T., Jeschke, M., Zhang, X., & Thomas, F.M. (2016). Growth and water use of *Populus euphratica* trees and stands with different water supply

- along the Tarim River, NW China. *Forest Ecology and Management*, 380, 139–148.
- Luo, W., Taylor, M.C., & Parker, S.R. (2008). A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*, 28 (7), 947–959.
- Modirrahmati, A. (2016). Development of wood farming. *Iran Nature*, 1(1), 21-14.
- Motaghd, M., Asadi, A., Shababali Fami, H., & Kalantari, K. (2022). Analysis of vulnerability components of small-scale farming units in Hamadan province in the face of climate change. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 53(1), 277-299.
- Ohrtman, M. K., Sher, A. A., & Lair, K. D. (2012). Quantifying soil salinity in areas invaded by *Tamarix* spp. *Journal of Arid Environments*, 85, 114-121.
- Ozkan, B., Dengiz, O. & Turan, I. D. (2020). Site suitability analysis for potential agricultural land with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis in regional scale under semi-arid terrestrial ecosystem. *Scientific Reports*, 10, 22074. 1-18.
- Peyrov, S., Sosani, J., Jalilvand, H.R., Pirikia, M., 2017. Evaluation of Growth of Trees Using Drip and Furrow Irrigation Systems. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30 (2), 280–290.
- Rajabi, M. R, Mansourian, A, & Talei, M. (2011). Comparison of multi-criteria decision making methods AHP, AHP_OWA and Fuzzy AHP_OWA for locating residential complexes in Tabriz city. *Ecology*, 37(57), 77-92. SID. <https://sid.ir/paper/453694/fa> (In Persian)
- Rawal, D. S., Kasel, S., Keatler, M. R., & Nitschke, C. R. (2015). Climatic and photoperiodic effects on flowering phenology of select eucalyptus from south-eastern Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214/215, 231–242.
- Rodríguez-Dorna, A., Alonso, L., Picos, J., & Armesto, J. (2023). Mapping Feasibility for Wood Supply: A High-Resolution Geospatial Approach to Enhance Sustainable Forest Management in Galicia (NW Spain). *Forests*, 14 (11), 2124.
- Rosso, L., Cantamessa, S., Bergante, S., Biselli, C., Fricano, A., Chiarabaglio, P. M., Gennaro, M., Nervo, G., Secchi, F., & Carra, A. (2023). Responses to drought stress in poplar: What do we know and what can we learn? *Life*, 13(2), 533.
- Saaty, L. T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*. 1(1), 83–99.
- Sadeghzadeh Hallaj, M.H., Azadfar, D., Mirakhori, R. 2015. Growth performance of various population of salt cedar in saline-alkaline soils. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22 (1), 151–165.
- Sanai, M., Fallah Shamsi, S., & Ferdowsi Asmanjardi, H. (2010). Multi-criteria land evaluation (MCE) with two strategies, WLC and OWA, in locating suitable fodder areas (case study: Zakhad, Fars). *Pasture*, 4(2), 216-227. (In Persian)
- Sanchouli, A., Rafighi, A., Tabarsa, T., & Agharkakli, B. M. (2021). Assessment and Comparison the Factors Affecting Wood Farming in Golestan Province based on Experts and Wood Farmers' Point of View. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 28(3), 21-35. (In Persian)
- Shabani, S., Faramarzi, H., Ahmadi, A., Bayat, M., Agherkakli, B.M., & Taheri, S. 2023. Estimation of afforestation area in the plantation stands in the east of Golestan province. *Journal of Iran Nature*, 8 (4, 41), 1–10.
- Shao, Sh., Li, G., Wang, J., Wang, Y., Qu, M., Zhao, H., Zhu, W., & Li, J. (2024). Temperature and soil attributes drive the regional variation in leaf anatomical traits of *Populus euphratica*. *Global Ecology and Conservation*, 54, e03107.
- Soleymani Nejad, S., Dourandish, A., Sabouhi, M., & Banayan Aval, M. (2019). The Effects of Climate Change on Cropping Pattern (Case Study: Mashhad Plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(2), 249-263. doi: 10.22059/ijaedr.2019.237998.668461 (In Persian)
- Sun, J., Li, G., Zhang, Y., Qin, W., & Wang, M. 2022. Identification of priority areas for afforestation

- in the Loess Plateau region of China. *Ecological Indicators*, 140, 108998, 1–13.
- Verkerk, P.J., Levers, C., Kuemmerle, T., Lindner, M., Valbuena, R., Verburg, P.H., & Zudin, S. (2015). Mapping wood production in European forests. *Forest Ecology and Management*, 357, 228-238.
- Wang, D., Zhao, C., Zheng, J., Zhu, J., Gui, Z., & Yu, Z. (2021). Evolution of soil salinity and the critical ratio of drainage to irrigation (CRDI) in the Weigan Oasis in the Tarim Basin. *CATENA*, 201, 105210.
- Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A., Meko, D.M., Swetnam, T.W., Rauscher, S.A., Seager, R., Grissino-Mayer, H.D., Dean, J.S., Cook, E.R., Gangodagamage, C., Cai, M., & McDowell, N.G., 2013. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3, 292–297.
- Xiao, Y., Wang, Q., & Zhang, H.K. (2024). Global Natural and Planted Forests Mapping at Fine Spatial Resolution of 30 m. *Journal of Remote Sensing*, Article ID: 0204, 1–23.
- Xu, F., Vaziriyeganeh, M., & Zwiazek, J. J. (2020). Effects of pH and mineral nutrition on growth and physiological responses of trembling aspen (*Populus tremuloides*), jack pine (*Pinus banksiana*), and white spruce (*Picea glauca*) seedlings in sand culture. *Plants*, 9(6), 682.