Plant Prod., 2026, 49(1), 157-172
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49792.2274
Received: 03 November 2025
Accepted: 29 December 2025

Plant Productions

Research Article

Agro-ecological zoning of land for canola cultivation following rice in Guilan Province using GIS and AHP

Pooya Aalaee Bazkiaee[1], Behnam Kamkar[2*], Hossein Kazemi[3]

1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
2. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Department of Horticulture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Citation: Aalaee Bazkiaee, P., Kamkar, B., Kazemi, H. (2026). Agro-ecological zoning of land for canola cultivation following rice in Guilan Province using GIS and AHP. *Plant Productions*, 49(1), 157- 172.

Abstract

Introduction

Canola (*Brassica napus* L.) cultivation, as a strategic oilseed crop globally and in Iran, is of increasing importance for strengthening national food security and reducing economic dependence on imported crude oil and meal. This plant, with its high oil content and desirable quality, as well as a protein-rich meal for animal feed, offers significant potential for diversifying cropping patterns and increasing farmers' income. However, the expansion of canola cultivation, especially in regions with a history of rice monoculture such as Guilan Province, faces numerous ecological challenges. These challenges include limitations arising from specific climatic conditions after rice harvesting, the physical and chemical properties of paddy soils, which are often heavy and poorly drained, and natural land topography, which can affect water management and crop growth uniformity. Under such circumstances, the precise and scientific identification of potential and suitable areas for canola cultivation as a second crop after rice, utilizing advanced spatial analysis tools like Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP), is practical, economical, and highly important.

Materials and Methods

This research, conducted in 2024, primarily aimed at comprehensively zoning lands in Guilan Province for canola cultivation after rice harvesting. To achieve this goal, the capabilities of GIS in managing, analyzing, and visualizing spatial data, and AHP's ability to weight criteria and support multi-criteria decision-making, were employed to match the specific environmental requirements of canola with the diverse land characteristics across the province. The research process involved several key stages. First, the fundamental agro-ecological needs of canola including thermal, moisture, and light requirements, as well as soil type in terms of texture, depth, fertility (pH, organic matter, nutrients), and land slope were accurately determined and then graded for use in the model, based on credible scientific sources and field experience. Subsequently, the required digital thematic maps, including layers of key climatic elements (such as temperature, precipitation, and radiation), physical

* **Corresponding Author:** Behnam Kamkar
E-mail: kamkar@um.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

and chemical soil properties (texture, pH, phosphorus, potassium, zinc, iron, and organic matter content), and topographic features (slope and Altitude), were prepared using available data and spatial interpolation methods. After preparing the information layers, each layer was classified and ranked according to its suitability for canola growth using the Simple Limitation Method, where the unsuitability of a single factor can limit the entire area. Then, using the AHP technique and based on expert opinions and the relative importance of each factor in canola growth and yield, appropriate weights were assigned to each environmental factor layer. Finally, the weighted environmental factor layers were integrated and overlaid in the GIS software environment to produce the final land suitability map. This map zoned the province's lands into four distinct classes: highly suitable, suitable, moderately suitable, and unsuitable for second-crop canola cultivation.

Results and Discussion

The results obtained from this spatial analysis indicated that 44% and 56% of the total agricultural lands in Guilan Province are classified as suitable and moderately suitable, respectively, for post-rice canola production, with no areas identified as highly suitable or completely unsuitable. A more detailed investigation of limiting factors revealed that deficiencies in some essential nutrients for canola including iron (Fe), phosphorus (P), and zinc (Zn), as well as unsuitable soil texture (often heavy and clayey), which leads to waterlogging and oxygen deficiency in the roots, act as major limiting factors for canola cultivation in significant portions of the study area. From a climatic perspective, the average temperature during the growing season and the occurrence of maximum temperatures during sensitive growth stages were identified as the most critical limiting parameters for canola cultivation in the province.

Conclusion

Considering the strategic importance of second cropping in Guilan Province which can significantly contribute to increasing the land-use efficiency of paddy fields, improving farmers' income, and enhancing the sustainability of the region's agricultural systems, the findings of this research have important practical applications. The precise identification of canola's environmental requirements and the location of suitable cultivation areas can play an effective role in agricultural development planning, providing sound management recommendations such as soil amelioration, nutrient management tailored to deficiencies, and the selection of resistant or tolerant varieties for areas with limitations.

Keywords: Geographic information system, Land suitability, Nutrient management, Paddy field, Second cropping

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۱)، ۱۵۷ – ۱۷۲
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49792.2274
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی اراضی برای کشت کلزا بعد از برنج در استان گیلان با استفاده از GIS و AHP

پویا اعلایی بازکیایی[۱] ، بهنام کامکار[۲]* ، حسین کاظمی[۳]

۱- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران
۲- گروه اگروتکنولوژی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدهٔ تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

کلزا، دانه‌ای روغنی راهبردی، با پتانسیل بالا برای تولید روغن و کنجالهٔ پروتئینی، نقش مهمی در تنوع‌بخشی به الگوهای کشت دارد. با این حال، توسعهٔ آن در مناطقی مانند استان گیلان که عمدتاً برنج‌کاری می‌شوند، چالش‌هایی اکولوژیکی به همراه دارد. از این رو، شناسایی علمی مناطق مستعد برای کشت دوم کلزا پس از برداشت برنج، با استفاده از GIS و AHP، از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش با هدف پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی اراضی گیلان برای کشت کلزا در سال ۱٤۰۳ انجام شد. بدین منظور ابتدا، نیازهای اساسی زراعی-بوم‌شناختی کلزا، شامل نیازهای حرارتی، رطوبتی، نوری، و همچنین نیاز به انواع خاصی از خاک از نظر بافت، عمق، حاصلخیزی (pH، مواد آلی، عناصر غذایی) و شیب زمین، با استناد به منابع علمی معتبر و تجربیات میدانی، به دقت تعیین و سپس برای استفاده در مدل، درجه‌بندی شدند. در ادامه، نقشه‌های موضوعی رقومی مورد نیاز، شامل لایه‌های مربوط به عناصر اقلیمی کلیدی (مانند دما، بارش، تابش)، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (بافت، pH، میزان فسفر، پتاسیم، روی، آهن و مادهٔ آلی) و خصوصیات توپوگرافیک (شیب و ارتفاع از سطح دریا) با استفاده از داده‌های موجود و روش‌های درون‌یابی مکانی تهیه گردیدند. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، هر لایه با توجه به میزان مطلوبیت برای رشد کلزا و با استفاده از روش محدودیت ساده (Simple Limitation Method)، که در آن نامناسب بودن یک عامل می‌تواند کل منطقه را محدود کند، طبقه‌بندی و رتبه‌بندی شد. سپس، با استفاده از تکنیک AHP و بر اساس نظرات کارشناسان و اهمیت نسبی هر عامل در رشد و عملکرد کلزا، وزن مناسب به هر یک از لایه‌های عوامل محیطی اختصاص داده شد. در نهایت، لایه‌های وزنی عوامل محیطی در محیط نرم‌افزار GIS با یکدیگر تلفیق و روی‌هم‌گذاری شدند تا نقشهٔ نهایی تناسب اراضی تولید شود. این نقشه، اراضی استان را در چهار طبقهٔ مشخص از بسیار مستعد، مستعد، نسبتاً مستعد تا غیر مستعد برای کشت دوم کلزا، پهنه‌بندی نمود. نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل مکانی نشان داد که به ترتیب ٤٤ و ٥٦ درصد از کل زمین‌های زراعی استان گیلان برای تولید کلزا پس از برنج، در طبقات مستعد و نسبتاً مستعد قرار می‌گیرند و هیچ منطقه‌ای به عنوان بسیار مستعد یا کاملاً غیر مستعد شناسایی نشد. بررسی دقیق‌تر عوامل

نویسنده مسئول: بهنام کامکار
رایانامه: kamkar@um.ac.ir

محدودکننده نشان داد که کمبود برخی عناصر غذایی ضروری برای کلزا، از جمله آهن (Fe)، فسفر (P) و روی (Zn) و همچنین نامناسب بودن بافت خاک (غالباً سنگین و رسی) که منجر به پدیدهٔ ماندابی و کمبود اکسیژن برای ریشه‌ها می‌شود، در بخش‌های قابل توجهی از محدودهٔ مورد مطالعه به عنوان عوامل اصلی محدودیت‌زا برای کشت کلزا عمل می‌کنند. از دیدگاه عوامل اقلیمی، دمای متوسط دورهٔ رشد و وقوع دماهای بیشینه در مراحل حساس، مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ کشت کلزا در استان شناسایی شدند. با توجه به اهمیت راهبردی کشت دوم در استان گیلان، که می‌تواند به افزایش بهره‌وری از اراضی شالیزاری، بهبود درآمد کشاورزان و پایداری سیستم‌های کشاورزی منطقه کمک شایانی نماید، نتایج این پژوهش کاربردهای عملی مهمی دارد.

کلید واژه‌ها: تناسب اراضی، سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، شالیزار، کشت دوم، مدیریت تغذیه

مقدمه

افزایش جمعیت و همچنین افزایش سرانه مصرف روغن‌های گیاهی سبب شده حدود ۹۰ درصد روغن مصرفی کشور از طریق واردات تأمین گردد. ازاین‌رو دستیابی به خودکفایی در زمینه روغن خوراکی و کاهش واردات، توسعه و کشت گیاه روغنی کلزا (*Brassica napus* L.) در اراضی شالی‌کاری یکی از عرضه‌های امیدبخش توسعهٔ این گیاه در کشور محسوب می‌شود (Rabiee *et al.*, 2004). استفاده بهینه از شالیزارها در تمام طول سال، ایجاد اشتغال و در نتیجه افزایش تولید و درآمد کشاورزان و همچنین پایداری تولید برنج (*Oryza sativa* L.) و بهبود شرایط محیط و خاک از مزایای کشت کلزا در شالیزارهای محسوب می‌شود (Rabiee *et al.*, 2004).

کشت کلزا به عنوان محصولی زمستانه در تناوب با برنج، نه تنها به بهبود ساختار خاک و کنترل آفات و بیماری‌های مشترک کمک می‌کند، بلکه باعث افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی منطقه نیز می‌شود. مطالعات متعددی در زمینه بهینه‌سازی کاربرد این کشت متناوب انجام شده است؛ از جمله می‌توان به بررسی اثرات سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بوته (Ghadikolaei *et al.*, 2008)، بهینه‌سازی سامانه‌های زهکشی زیرزمینی (Darzi Naftchali *et al.* 2022)، بررسی تولید کلزای پاییزه تحت تیمارهای آبیاری و ارقام مختلف کلزا (Sadeghi *et al.*, 2025) و مصرف بهینه آب و نیتروژن (Shamgani Mashhadi *et al.* 2024) اشاره کرد. مطالعات متعددی به بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد کلزا به عنوان کشت دوم پس از برنج در شالیزارها پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات نشان داد که خاک‌ورزی مرسوم به طور قابل‌توجهی عملکرد کلزا را افزایش می‌دهد (Rabiee *et al.*, 2011)، در حالی که تأمین نیاز کودی با ۶۰ کیلوگرم پتاسیم و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار را برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف کود نیتروژن در کلزا ضروری دانستند (Rabiee and Tousi Kahal, 2012). گزارش شده است که مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص و ۶ کیلوگرم بذر در هکتار، بیشترین عملکرد دانه و روغن را در غرب مازندران به دست می‌دهد (Keyhanian *et al.*, 2012). علاوه بر این، در پژوهشی دیگر کاهش عمق ایستابی را عامل مؤثر در افزایش عملکرد دانه و درصد روغن کلزا در گیلان معرفی کردند (*Farzam Sefat et al.*, 2010). مدیریت رقم و تاریخ کاشت (Rabiee *et al.*, 2004) و مدیریت تراکم کاشت و کنترل علف‌های هرز (Rajabian *et al.*, 2012) نیز به عنوان عوامل کلیدی در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد کلزا پس از برنج شناسایی شده‌اند.

تجزیه و تحلیل و تهیه نقشهٔ تناسب اراضی، به عنوان یکی از کاربردهای بسیار مفید سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مدیریت و طراحی مکانی (Malczewski, 2004)، در مطالعات متعددی برای بررسی تناسب اراضی جهت کشت کلزا مورد استفاده قرار گرفته است. پژوهش‌های اخیر در ایران نشان می‌دهد که ارزیابی تناسب اراضی برای کشت محصولات مختلف، به‌ویژه کلزا، در حال افزایش است. این مطالعات از روش‌های گوناگونی همچون مدل فازی، AHP، TOPSIS و GIS استفاده کرده‌اند. برای مثال، در آذربایجان غربی (Saeidabadi *et al.*, 2015)، کردستان (Halabian *et al.*, 2017)، همدان (Hashemi *et al.*, 2017) و مازندران (Roshanali *et al.*, 2012) تناسب اراضی برای کلزا و چغندرقند بررسی شده است. همچنین،

مطالعاتی در ایلام (Fathizad *et al.*, 2017)، آذربایجان شرقی (Ostovari *et al.*, 2019)، اردبیل (Seyedmohammadi *et al.*, 2018)، اصفهان و چهارمحال و بختیاری (Pirbalouti and Golparvar, 2008) نیز انجام شده است. در جنوب شرقی ایتالیا (Tedone *et al.*, 2011) نیز ارزیابی تناسب اراضی برای کلزا صورت گرفته است. این تحقیقات نشان‌دهندهٔ اهمیت مدل‌سازی و تحلیل فضایی در تعیین بهترین مناطق برای کشت محصولات کشاورزی است.

با توجه به اهمیت روزافزون شناسایی استعداد و توان سرزمین برای کاربری‌های مختلف کشاورزی در راستای حفظ منابع محیطی و تضمین تولید پایدار محصولات، به ویژه در استان گیلان با بوم‌نظام‌های کشاورزی حساس، عدم پهنه‌بندی و شناسایی توان این استان برای فعالیت‌های کشاورزی منجر به تخریب محیط زیست، آلودگی منابع آب و خاک و ناپایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی خواهد شد. از آنجا که تناوب برنج-کلزا نقش بسزایی در بهبود شرایط خاک و استفاده بهینه از اراضی دارد، این مطالعه با هدف ارزیابی اراضی استان گیلان برای کشت کلزا پس از برداشت برنج، شناسایی توانمندی‌ها، استعدادها و محدودیت‌های سرزمینی با استفاده از GIS و AHP انجام شد تا نتایج آن در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

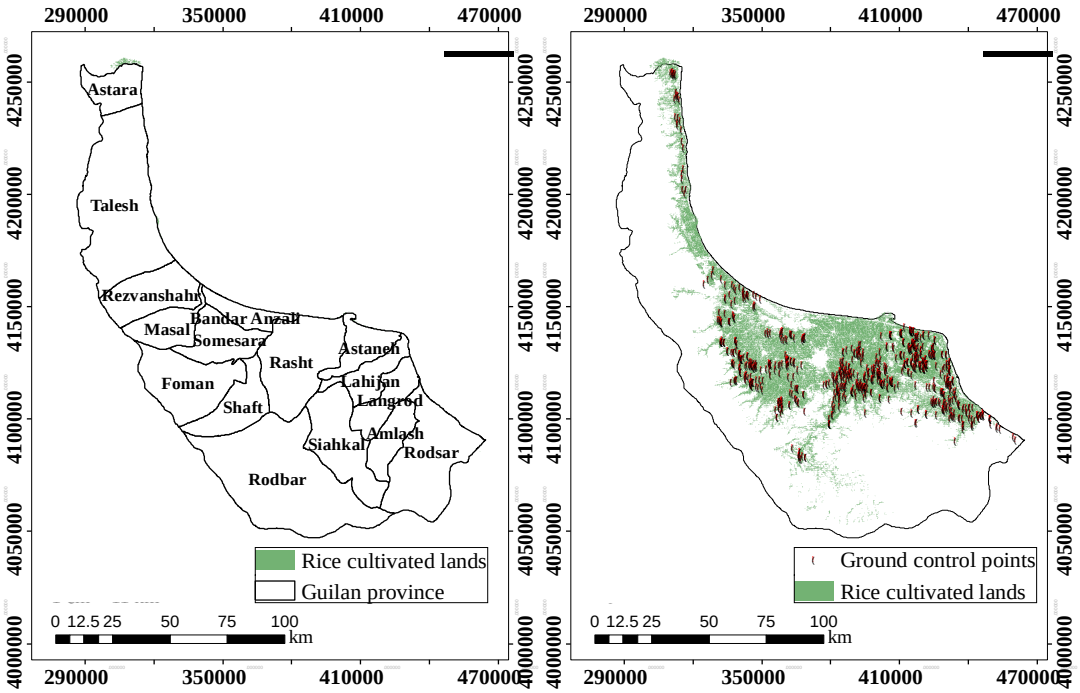
استان گیلان دارای ۱۶ شهرستان با ارتفاع ۹۱- تا ۳۶۸۷ متر از سطح دریا می‌باشد که دشت‌های آبرفتی و مناطق کوهستانی از سمت شمال به جنوب امتداد یافته است (Organization of Management and Planning of Gilan Province, 2020). این استان در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقهٔ طول شرقی قرار دارد. استان گیلان دارای اقلیم معتدل بسیار مرطوب بر اساس طبقه‌بندی کوپن-گایگر (بر اساس داده ۳۵ ساله) می‌باشد (Raziei, 2017). استان گیلان به دلیل شرایط آب و هوایی مساعد، تنوع کشت بالایی دارد. کشت شالیزار که به آب فراوان نیاز دارد، مهم‌ترین فعالیت کشاورزی است. در مناطق کوهستانی و تپه‌ماهورها، کشت دیم غلات و گیاهان دارویی رواج دارد. باغداری نیز با تمرکز بر چای، مرکبات و فندق، از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر، کشت گلخانه‌ای و کلزا نیز به دلیل مزایای اقتصادی و سازگاری با محیط، توسعه یافته است. بر اساس آمارنامه جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۱ سطح زیر کشت برنج ۲۴۵ هزار هکتار است. پایین بودن سطح زیر کشت کلزا (۱۰۰ هکتار) در ۲۴۵ هزار هکتار اراضی برنج به عنوان کشت دوم (Agricultural Jihad Statistics, 2022)، عمدتاً به دلایلی همچون عدم آگاهی کافی کشاورزان نسبت به مزایای کشت کلزا است.

در این مطالعه ارزیابی اراضی استان گیلان برای کشت کلزا پس از برداشت برنج در مناطق مکان‌یابی شده تحت کشت برنج انجام شد. در پژوهشی با بهره‌گیری از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، طبقه‌بندی اراضی برنج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی استخراج شد (Bazkiaee *et al*,. 2024). در نمودار (۱) نقاط مورد استفاده جهت تفکیک اراضی برنج و اراضی تفکیک شده حاصل از روش نظارت شده ارائه گردیده است.

پس از تعیین محدودهٔ مطالعاتی، با بهره‌گیری از روش محدودیت ساده، انطباق نیازمندی‌های محیطی گیاه کلزا با خصوصیات اراضی بررسی گردید. بدین منظور، نیازهای بوم‌شناختی و زراعی گیاه کلزا بر اساس منابع موجود تعیین و درجه‌بندی گردید. مبنای این درجه‌بندی روش‌های پیشنهادی سیس و همکاران (Sys et al., 1991) و غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2000) بود. لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز شامل دمای متوسط، کمینه و بیشینه، بارش، شیب، ارتفاع از سطح دریا، جهات شیب، مادهٔ آلی، شوری، بافت و pH خاک و عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی) در محیط ArcMap نسخهٔ ۱۰/۳ تهیه شدند. داده‌های خاک و هواشناسی استان گیلان با همکاری سازمان هواشناسی استان گیلان، ادارهٔ منابع طبیعی استان گیلان و موسسهٔ تحقیقات برنج کشور جمع‌آوری گردید. در نهایت، هر لایه بر اساس روش محدودیت ساده و جدول نیازهای محیطی کلزا (جدول ۱) در چهار طبقهٔ بسیار مناسب (بسیار مستعد)، مناسب (مستعد)، نسبتاً مستعد و نامناسب (غیر مستعد) طبقه‌بندی و رتبه‌بندی شدند.

با توجه به این که عوامل محیطی متعددی در تناسب اراضی دخیل هستند و از سویی وزن یکسانی ندارند، برای ارزیابی دقیق‌تر

و تصمیم‌گیری، اهمیت نسبی هر عامل و ارزش متغیرها از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP تعیین شد (Bazkiaee *et al.*, 2024). این کار از طریق طراحی پرسشنامه‌های AHP (ماتریس مقایسات زوجی) و تکمیل آن توسط ۲۰ نفر از متخصصان زراعت صورت گرفت. پس از استخراج وزن‌ها از پرسشنامه‌ها و نیز تهیهٔ لایه‌های رستری طبقه‌بندی شده، این لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS فراخوانی شدند. تلفیق و روی‌هم‌گذاری لایه‌ها با اختصاص وزن AHP مختص به هر لایه انجام شد (هم‌پوشانی وزنی) (Saaty, 1999). در انتها کار استعدادسنجی منطقه جهت تولید کلزا بر اساس جدول (۲) صورت گرفت. نقشه‌های خروجی در چهار پهنه، چگونگی انطباق نیازهای گیاه زراعی کلزا با شرایط محیطی منطقه را نشان دادند.



شکل ۱- موقعیت شالیزارهای مورد مطالعه برای کشت دوم کلزا و نقاط کنترل زمینی مورد استفاده

Figure 1. Location of studied rice fields for second cropping of rapeseed and used ground control points

جدول ۱- نیازهای بوم‌شناختی-زراعی کلزا و طبقه‌بندی عوامل محیطی (Kazemi *et al.*, 2012)

Table 1. Agro-ecological requirements of canola and classification of environmental factors (Kazemi *et al.*, 2012)

Environmental factor	Very suitable S1	Suitable S2	Relatively Suitable S3	Unsuitable N
Annual precipitation (mm)	400-500	300-400	250-300	250<
Average temperature (°C)	12.5-13.5	12-12.5 and 13.5-14	11-12 and 14-15	15 >and 11<
Minimum temperature (°C)	6-7	7-7.5 and 5-6	4-5 and 7.5-8	4 <and< 8
Maximum temperature (°C)	18-19	17-18 and 19-20	16-17 and 20-21	21 >and 16<
Soil acidity (pH)	6-7	5.5-6 and 7-8	5-5.5 and 8-8.5	5 <and 8.5>
Soil salinity (dS m^{-1})	0-4	4-8	8-12	12>
Organic matter (%)	3>	2-3	1-2	1<
Slope (%)	0-2.5	2.5-5	5-7.5	7.5>
Elevation (m)	0-1500	1500-2000	2000-2500	2500>
Soil texture	Loamy - Clay Loam - Sandy Loam - Sandy Loam - Sandy Clay Loam	Silty Clay Loam - Sandy Clay	Sandy Loam - Silty Loam - Clay	Sandy
Aspect	Directionless - South - Southeast	East - Northeast	Southwest - Northwest	West and North
Iron (mg/kg)	10-15	8-10 and 15-18	5-8 and 18-20	5 <and 20>
Zinc (mg/kg)	1-2	2-4	4-6	1 <and 6>
Phosphorus (mg kg^{-1})	10-13	8-10 and 13-15	5-8 and 15-20	5 <and 20>
Potassium (mg kg^{-1})	200-250	150-200 and 250-300	100-150 and 300-350	100 <and 350>

به منظور فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و وزن‌دهی به معیارها با روش AHP، ابتدا معیار تصمیم‌گیری که استعدادسنجی اراضی جهت کشت کلزا می‌باشد، به صورت درخت سلسله‌مراتبی که شامل عناصر تصمیم-گیری است، تجزیه شد (نمودار ۲). در سطح اول هدف اصلی، در سطح دوم معیارهای اصلی مؤثر در کشت محصول (توپوگرافی، منابع خاک و اقلیم) و در سطح سوم زیرشاخه‌ها یا زیر معیارهای هرکدام از عوامل سطح دوم دسته‌بندی شدند.

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط متخصصین زراعت، روایی محتوایی و ظاهری پرسشنامه با استفاده از نظرات محققان زراعت، ترویج و آموزش کشاورزی و متخصصین AHP پس از چند مرحله اصلاح و بازنگری مورد تأئید قرار گرفت. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، تعیین وزن‌ها به وسیلهٔ نرم‌افزار Expert Choice نسخهٔ ۱۱ انجام شد.

پس از تبیین مفهوم AHP برای افراد خبره، پرسش‌نامه در اختیار آن‌ها قرار گرفت. در این روش کارشناسان خبره زراعت شاغل در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان گیلان، قضاوت‌های مقایسهٔ زوجی ساده‌ای را از طریق سلسله‌مراتب ایجاد شده برای تمامی معیارها و زیر معیارها انجام دادند. مقایسه‌های زوجی این پژوهش در قالب ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی و بر اساس طیف ۹ قسمتی ساعتی (جدول ۳) صورت گرفت.

تهیهٔ نقشه‌های توپوگرافی: نقشهٔ شیب، جهات شیب و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استان گیلان در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط ArcMap و با کیفیت ۳۰ متر تهیه شد.

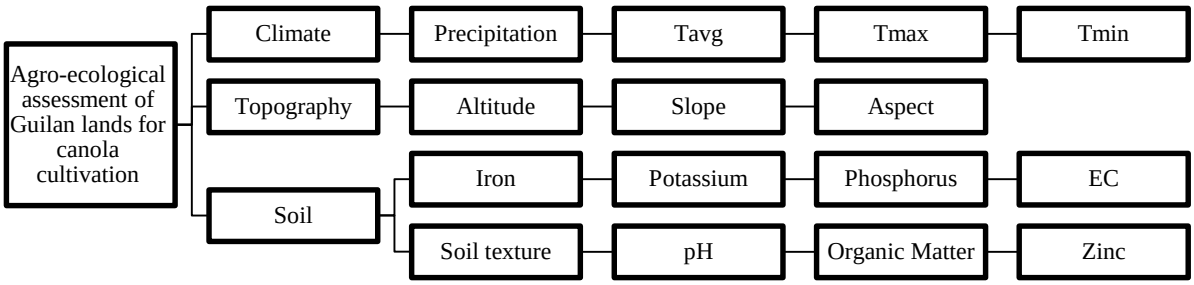
نقشه‌های اقلیمی: برای تهیهٔ نقشه‌های دما و بارش محدودهٔ مورد مطالعه، از داده‌های اقلیمی بلندمدت (حداقل ۱۰ سال) آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی و هم‌دیدی مستقر در سطح استان گیلان استفاده شد. پیش از درون‌یابی داده‌ها، بررسی نرمال بودن داده‌ها انجام شد. بدین منظور آزمون ران تست جهت اطمینان از همگنی داده‌ها انجام و توزیع نرمال بودن داده‌ها با استفاده از شاخص‌های مرکزی شامل میانه و میانگین و شاخص های پراکندگی شامل چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. در حالت نرمال بودن داده ها، میانه و میانگین حداقل اختلاف را نسبت به هم دارند و داده‌ها به هیچ سمتی کشیدگی ندارند (Bazkiaee *et al.*, 2024). فرایند درون‌یابی لایه‌های مذکور با استفاده از روش کریجینگ معمولی، ساده و جهانی انجام شد. برای هر یک از این روش‌ها، مدل‌های دایره‌ای[1] کروی[2] نمایی[3] گوسی[4] چهاروجهی کروی[5] پنج‌وجهی کروی[6] درجه‌دو منطقی[7] Hole effect، K-Bessel، J-Bessel و Stable در محیط GIS مورد ارزیابی قرار گرفتند. لایه‌های اقلیمی موردنیاز با استفاده از داده‌های هواشناسی ماهانه و نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. بدین منظور، داده‌های ماهانه شامل میانگین دمای کمینه، بیشینه، متوسط و مجموع بارش، ابتدا با روش کریجینگ به نقشه‌های رستری ماهانه تبدیل شدند. با تعیین فصل رشد کلزا از ابتدای مهر تا انتهای فروردین، لایه‌های اقلیمی فصل رشد نهایی با استفاده از قابلیت Raster calculator در ArcGIS، از طریق میانگین‌گیری لایه‌های دمای ماهانه و تجمیع لایه‌های بارش ماهانه محاسبه و ارائه شدند. ۷۶ ایستگاه باران-سنجی، هم‌دیدی و اقلیم‌شناسی استان گیلان (نمودار ۳) جهت تهیهٔ لایه‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. روش مدل نهایی برای درونیابی هر یک از لایه‌ها بر اساس کم‌ترین میانگین مربعات خطا (RMSE) در تخمین متغیرها انتخاب شد (Bazkiaee *et al.*, 2024).

1 Circular
2 Spherical
3 Exponential
4 Gaussian
5 Tetraspherical
6 Pentaspherical
7 Rational Quadratic

جدول ۲- توصیف نواحی همگن بوم‌شناختی-زراعی بر اساس پتانسیل کشت کلزا (Ghafari *et al.*, 2000)

Table 2. Description of homogeneous agro-ecological zones based on rapeseed cultivation potential (Ghafari *et al.*, 2000)

Zone	Product yield status
Very suitable (very good)	80-100% of the product's production potential exists in this zone.
Suitable (good)	60-80% of the production potential of that crop exists in this zone
Relatively Suitable (Moderate)	40-60% of the production potential of that crop exists in this zone
Unsuitable	<40% of the production potential of that crop exists in this zone



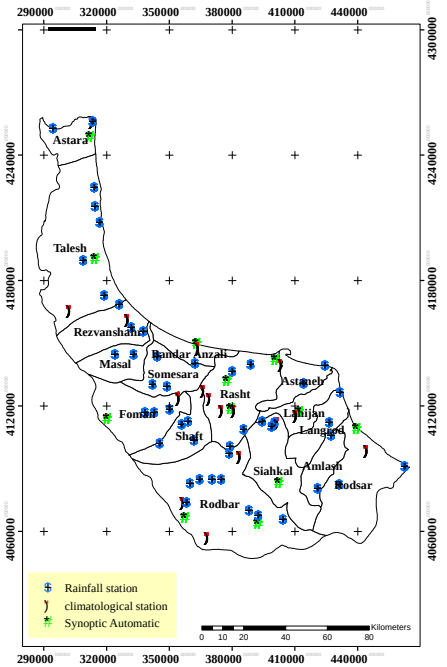
شکل ۲- ساختار سلسله‌مراتبی عوامل مؤثر بر پتانسیل کشت کلزا در شالیزارهای استان گیلان

Figure 2. Hierarchical structure of factors affecting rapeseed cultivation potential in Guilan paddy fields

جدول ۳- ترجیحات کمی و کیفی برای مقایسه زوجی عوامل مؤثر بر کشت کلزا و تعیین وزن نهایی عوامل (Saaty, 1999)

Table 3. Quantitative and qualitative preferences for pairwise comparison of factors affecting rapeseed cultivation and determining final factor weights (Saaty, 1999)

Preferences (Verbal Judgment)	Numerical value
Absolute Judgment	More than 9
Absolutely more preferred or completely more desirable	9
Very strong preference or importance or desirability	7
Strong preference or importance or desirability	5
Slightly more preferred or slightly more desirable	3
Equal preference or importance or desirability	1
Intermediate preferences between the above values	2, 4, 6, 8



شکل ۳- مرزهای جغرافیایی استان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در استان گیلان

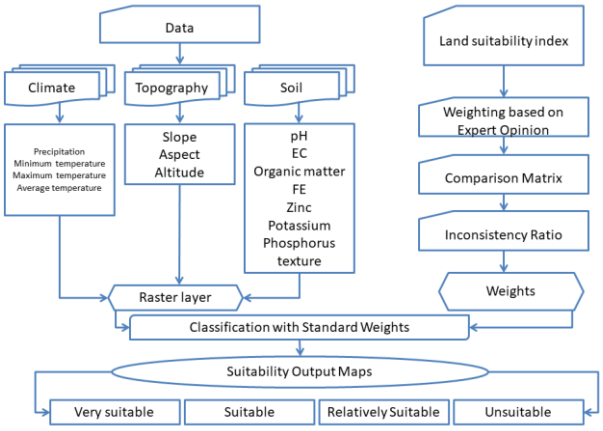
Figure 3. Geographical boundaries of the province and the locations of meteorological stations in Guilan province

نقشه‌های خاک: به منظور تهیهٔ نقشه‌های رقومی بافت، شوری، pH، مادهٔ آلی و نیز عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی برای منطقهٔ مورد مطالعه، اطلاعات و داده‌های خاک اراضی کشاورزی استان از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان بخش خاک و آب دریافت شد. تهیهٔ نقشه‌های خاک از ۸۵۶۷ نمونه از بانک دادهٔ خاک مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور (مربوط به بازهٔ زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲) انجام شد. برای تهیهٔ نقشهٔ خصوصیات خاک از روش‌های مختلف درون‌یابی و زمین‌آماری روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ کمک گرفته شد. جزییات بیش‌تر موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌گیری و نحوهٔ تهیهٔ نقشه‌های خاک در مطالعهٔ Davatgar *et al.* (2015) قابل بررسی است. در این ارزیابی، به دلیل مشخص بودن محل تأمین آب اراضی آبی و عدم مشاهدهٔ محدودیت منابع آب حتی در سال‌های پر بارش، نیازی به وارد کردن متغیر پتانسیل منابع آبی در مدل نبود. روند کلی اجرای این پژوهش در نمودار ۴ ارائه شد.

نتایج و بحث

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر کشت کلزا

طبق نتایج، ضریب ناسازگاری پرسشنامه‌ها معادل ۰/۰۷ به دست آمد که نشان‌دهندهٔ سازگاری مورد قبول در قضاوت‌های صورت گرفته در پرسشنامه‌ها است). نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی AHP نشان داد که معیار خاک با ضریب ۰/۷۴ نسبت به دو عامل اقلیم و توپوگرافی، بر مکان‌یابی کشت کلزا بیشترین اثر را داشت). در بین عوامل خاکی، عامل مادهٔ آلی با ارزش وزنی ۰/۳۹ دارای بیش‌ترین تأثیرگذاری و اسیدیته خاک دارای کمترین تأثیرگذاری (۰/۰۲۰) بودند. با توجه به نظر کارشناسان، عوامل خاک و توپوگرافی نقش مهم‌تری نسبت به عامل اقلیم در ارزیابی تناسب اراضی برای کشت کلزا در این محدوده داشته‌اند. در بین متغیرهای توپوگرافی، شیب با کسب وزن ۰/۴۴۳ تأثیر بیش‌تری نسبت به جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا داشت. در بین زیر معیارهای اقلیمی، عامل دمای بیشینه بیش‌ترین وزن (۰/۳۶۵) را کسب کرد و بارش با کم‌ترین ارزش وزنی (۰/۰۷۳) کم‌اثرترین عامل بود (جدول ۴). در مطالعات دیگر کسب بیشترین وزن توسط عوامل اقلیم و شیب در ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت کلزا در منطقهٔ میمه–زرین‌آباد ایلام (Fathizad *et al.*, 2017)، برآورد بیشترین وزن عوامل خاک و اقلیم در پهنه‌بندی زراعی–بوم‌شناختی استان گلستان جهت کشت کلزا (Kazemi *et al.*, 2012)، اهمیت بیشتر اقلیم نسبت به توپوگرافی، کاربری اراضی و خاک در ارزیابی توان محیطی استان آذربایجان غربی جهت کشت کلزا (Khorshiddoust *et al.*, 2015) و کسب بیشترین وزن توسط عوامل اقلیمی در ارزیابی تناسب اراضی کلزا در استان مازندران (Sobhani and Roshanali, 2018) گزارش شده است؛ بنابراین در مناطق مختلف بر اساس شرایط منطقه، اثرگذارترین عامل روی طبقه‌بندی تناسب اراضی می‌تواند متفاوت باشد.



شکل ٤–فلوچارت ارزیابی تناسب اراضی برای کشت کلزا پس از برنج در استان گیلان

Figure 4. Flowchart for land suitability assessment for rapeseed cultivation after rice in Guilan province

جدول ٤- نتایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر کشت کلزا

Table 4. Results of Hierarchical Analysis Process (AHP) and prioritization of factors affecting rapeseed cultivation

Criterion/Sub-criterion	Coefficients	Importance	Criterion/Sub-criterion	Coefficients	Importance
1- Soil	**0.745**		2- Topography	**0.156**	
Organic matter	0.389	1	Slope	0.433	1
EC	0.203	2	Aspect	0.388	2
Phosphorus	0.133	3	Altitude	0.169	3
Potassium	0.122	4	3- Climate	**0.099**	
Fe	0.051	5	Maximum temperature	0.365	1
Zinc	0.044	6	Average temperature	0.308	2
Soil texture	0.038	7	Minimum temperature	0.254	3
pH	0.020	8	Precipitation	0.073	4
Incompatibility coefficient	0.07				

نتایج استعدادسنجی اراضی

نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس نظر کارشناسان عوامل خاکی با بیش‌ترین وزن به دست آمده از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کشت کلزا بوده‌اند (جدول ۴). در این مطالعه ۴۴ و ۵۶ درصد (به ترتیب ۱۰۵ و ۱۳۳ هزار هکتار) اراضی به ترتیب در طبقهٔ مستعد و نسبتاً مستعد جهت کشت کلزا قرار گرفتند. نتایج بررسی نشان داد که کمبود عناصر غذایی سبب شده است تا پهنهٔ بسیار مستعد جهت کشت کلزا در سطح استان گیلان وجود نداشته باشد (نمودار ۵). در اراضی مستعد جهت کشت کلزا علی‌رغم مطلوب بودن شرایط از نظر شوری خاک، غنی بودن خاک از نظر عناصر روی و پتاسیم، محدودیت‌هایی از نظر pH خاک، میزان مادهٔ آلی، بافت خاک و میزان آهن وجود داشته است (نمودارهای ۵ و ۶) که می‌توان با اعمال مدیریت مناسب، کیفیت این اراضی را به حد بسیار مستعد ارتقا داد.

نتایج این تحقیق نشان داد در شالیزارهای نسبتاً مستعد جهت کشت کلزا محدودیت‌های شدیدی از نظر میزان روی، آهن، فسفر، بافت خاک و پتاسیم وجود دارد (نمودار ۵). اراضی نسبتاً مستعد مناطق زیادی از غرب استان گیلان شامل شهرستان‌های رشت، فومن، صومعه‌سرا، بندر انزلی، ماسال، رضوانشهر، تالش و آستارا را در بر می‌گیرد که نیازمند اصلاح در مدیریت اراضی می‌باشند (نمودار ۶). با توجه به سنگین بودن بافت خاک (رسی) در قسمت‌های زیادی از استان گیلان و حساس بودن گیاه کلزا به ماندابی در اثر بارش‌های شدید باید تمهیداتی جهت رفع این عامل در سطح استان اعمال گردد. مطالعات نشان داده است که در چنین موقعیتی می‌توان با اصلاح ساختار شخم، استفاده از ارقام اصلاح شده و متحمل به ماندابی، ارتقای سطح کیفی بذرها و انتخاب بذرهای با درصد کمون پایین جهت حفظ میزان عملکرد مناسب در شرایط تنش، عملکرد کلزا را بهبود بخشید (Gruber *et al.*, 2014). همچنین می‌توان جهت رفع بالا بودن سطح آب در شالیزارها اقداماتی در جهت زهکشی زیرزمینی به روش مصنوعی اعمال نمود تا میزان آب در اراضی پست را کنترل نمود.

تنظیم سطوح عناصر آهن، پتاسیم، فسفر و روی در مزارع را می‌توان با ارائهٔ طرح‌هایی جهت اجرای دوره‌ای آزمون خاک و ارائهٔ توصیهٔ کودی مناسب رفع نمود. بررسی‌ها نشان داده است که کمبود آهن فقط در خاک-هایی که به شدت آهکی هستند رخ می‌دهد (Saleem *et al.*, 2023). در چنین شرایطی، کاربرد بهینهٔ سطوح کود آهن با روش‌هایی مانند محلول‌پاشی در اوایل رشد رویشی کلزا می‌تواند سبب بهبود رشد گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلزا شود (Mostafavi Rad *et al.*, 2018). کمبود عنصر روی در سطح اراضی کلزا را می‌توان با کاربرد سولفات روی به صورت نواری رفع نمود. اثر مطلوب کود روی در افزایش عملکرد کمّی و کیفی کلزا در شرایط تنش خشکی استان خوزستان (Payandeh *et*

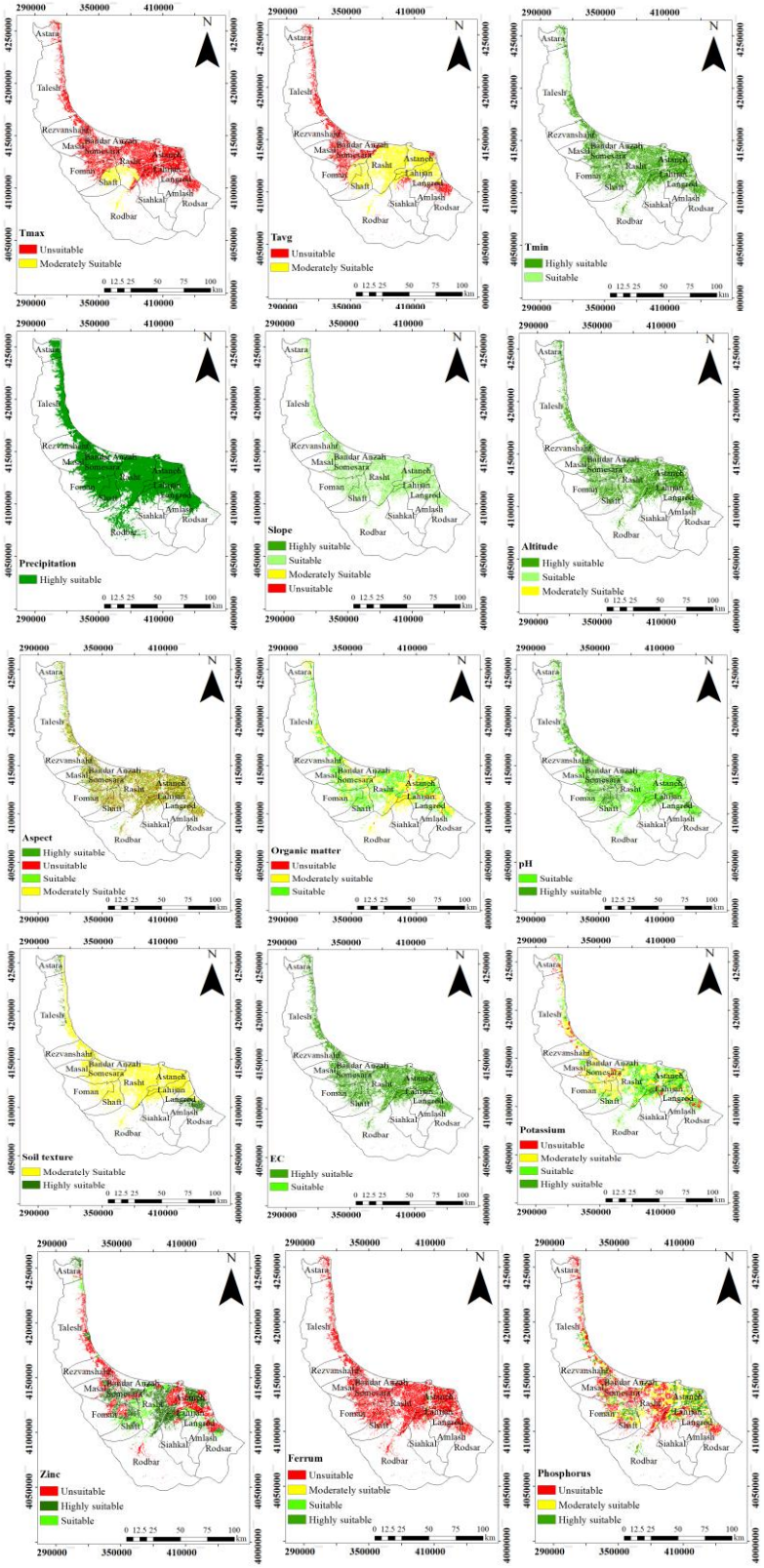
al., 2018) گزارش شده است. در مناطق دارای کمبود فسفر و پتاسیم می‌توان از کاربرد نواری منابع سوپرفسفات تریپل و فسفات آمونیوم و کاربرد کود پتاسیم (K_2O) به صورت کاربرد آن در زیر و کنار ردیف‌های کاشت بذرهای کلزا استفاده نمود (Mostafavi Rad *et al.*, 2018). با توجه به اهمیت پتاسیم در بقایای برنج، حفظ و بازگردانی این بقایا به خاک می‌تواند نقش مؤثری در کنار سطوح توصیه‌شده کودی در مثبت‌سازی بیلان پتاسیم خاک داشته باشد (Li *et al.*, 2014). همچنین عدم سوزاندن بقایا و بازگردانی آن به خاک می‌تواند ساختار خاک، چرخهٔ عناصر غذایی و آب در خاک را بهبود ببخشد که به‌نوبهٔ خود سبب افزایش حاصلخیزی خاک خواهد شد (Li *et al.*, 2014). از راهکارهای بررسی شده در زمینهٔ افزایش جذب فسفر اراضی می‌توان به کاربرد ارقام کلزا با بهره‌وری جذب فسفر بالاتر (Noorgholipour *et al.*, 2018)، قرار دادن کود و بذر کلزا با استفاده از شیاربازکن‌ها در خاک جهت کاهش حساسیت بذر در برابر آسیب‌پذیری نسبت به مصرف کود و افزایش بهره‌وری جذب فسفر (McKenzie, 2013) اشاره نمود.

بررسی عوامل توپوگرافی در سطح استان گیلان نشان داد که شیب و ارتفاع از سطح دریا محدودیت چندانی برای کشت کلزا نداشته‌اند و جهات شیب به‌طور پراکنده در چهار طبقهٔ بسیار مستعد تا غیرمستعد برای کشت کلزا قرار گرفته‌اند. بررسی عوامل اقلیمی در بحث تناسب اراضی جهت کشت کلزا نشان داد که استان گیلان از نظر دمای بیشینه و دمای متوسط دارای شرایط نسبتاً مستعد و غیرمستعد جهت کشت کلزا می‌باشد (نمودار ۶). این مشکلات توجه خاص به پاسخ دمایی ارقام و انتخاب تاریخ کاشت مناسب را الزامی می‌کند. طبق جدول نیازمندی‌های کلزا مشاهده شد که استان گیلان دارای دمای بیشینهٔ سالانه ۱۶/۸-۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد و دمای متوسط سالانه ۱۱/۳-۹/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که دارای درجات تناسب نسبتاً مستعد و غیرمستعد جهت کشت کلزا می‌باشند. بررسی دما به تفکیک ماه (نتایج ارائه نشده) نشان می‌دهد که با توجه به روند کاهشی دما از ماه آذر، می‌توان با اجرای آزمایش‌های دقیق ارزیابی تاریخ کاشت و بررسی نیاز دمایی کلزا در مراحل مختلف رشد، انتخاب ارقام مقاوم به شرایط دمایی موجود، نسبت به تعدیل اثر منفی دما روی عملکرد کلزا در استان گیلان اقدام نمود. از مطالعات صورت گرفته در زمینهٔ بررسی نیاز دمایی کلزا می‌توان به برآورد آستانه‌های دمایی سبز شدن گیاهچهٔ کلزای بهاره در مزرعه (Derakhshan *et al.*, 2019)، بررسی ارتباط صفات فنولوژیک و عملکرد ژنوتیپ‌های کلزای پاییزه (Rameeh, 2015) و بررسی دمای پایه و درجه‌روز-رشد مورد نیاز در ظهور گیاهچهٔ کلزا (Vigil *et al.*, 1997) اشاره نمود. درصد طبقات تناسب اراضی بر اساس عوامل مختلف محیطی مورد بررسی برای کشت کلزا در جدول ۵ ارائه گردید.

جدول ۵- درصد کلاس‌های تناسب اراضی بر اساس عوامل مختلف محیطی ارزیابی‌شده برای کشت کلزا

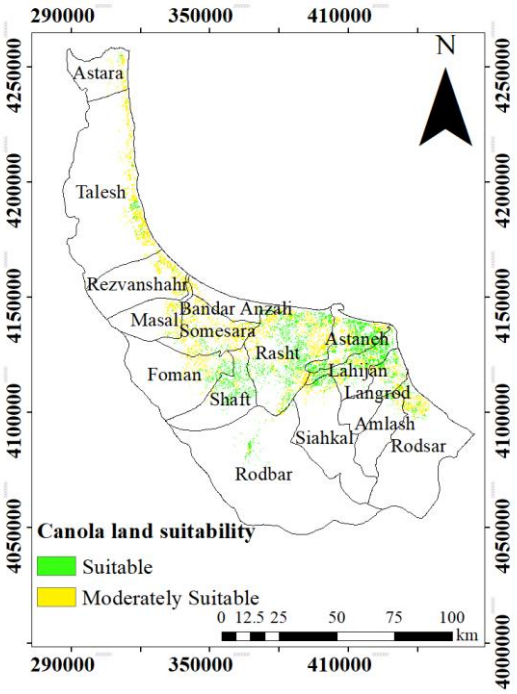
Table 5. Percentage of land suitability classes based on different environmental factors assessed for rapeseed cultivation

Land suitability level	Tavg	Tmin	Tmax	Aspect	Slope	Altitude	Soil texture	Zn	Organic matter	P	pH	EC	Fe	K	Agroecological suitability
Very suitable	0	97	0	28	9	100	9	45	0	22	48	100	1	10	0
Suitable	0	3	0	25	90	<1	0	15	59	0	52	<1	<1	44	44
Relatively Suitable	60	0	11	22	1	<1	91	0	40	30	0	0	<1	38	56
Unsuitable	40	0	89	25	<1	0	0	40	1	48	0	0	98	8	0



شکل ۵- پراکنش مکانی تناسب عوامل اقلیمی (بارش، دمای حداقل، حداکثر و میانگین)، عوامل توپوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا) و عوامل خاکی (نیتروژن، ماده آلی، فسفر، پتاسیم، pH، هدایت الکتریکی و بافت خاک) در اراضی کشاورزی استان گیلان برای کشت کلزا

Figure 5. Spatial distribution of suitability for climatic factors (precipitation, minimum, maximum, and average temperature), topographic factors (slope, aspect, and elevation above sea level), and soil factors (nitrogen, organic matter, phosphorus, potassium, pH, EC, soil texture) in agricultural lands of Guilan province for rapeseed cultivation.



شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی اراضی استان گیلان بر اساس پتانسیل کشت کلزا پس از برنج

Figure 6. Zoning map of Guilan province lands based on rapeseed cultivation potential after rice

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت کشت دوم در اراضی برنج سطح استان گیلان و اهمیت تولید دانهٔ روغنی کلزا، نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات پایهٔ مناسبی در جهت خودکفایی تولید روغن و استفادهٔ بهینه از اراضی فراهم نماید. همچنین با توجه به بالا بودن هزینه‌های تولید برنج و پایین بودن بهره-وری تولید نظام تک‌کشتی برنج در استان گیلان، کشت کلزا می‌تواند یکی از راهبردی‌ترین راهکارهای توسعهٔ اقتصادی بخش کشاورزی در استان گیلان باشد. کشت کلزا در استان گیلان نیازمند زیرساخت‌هایی نظیر احداث کارخانه‌های تولید روغن، خرید تضمینی کلزا از کشاورزان و ارائهٔ ادوات مخصوص برداشت کلزا می‌باشد؛ بنابراین اقدامات زیادی جهت توسعهٔ کشت کلزا در استان گیلان باید صورت گیرد که امکان‌سنجی اراضی نخستین گام در این زمینه می‌باشد. در این مطالعه بر اساس عوامل محیطی (خاک، اقلیم و توپوگرافی) مشخص شد که ۵۶ و ۴۴ درصد شالیزارها به ترتیب دارای مطلوبیت نسبتاً مستعد و مستعد جهت کشت کلزا می‌باشند. مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ کشت کلزا در استان گیلان کمبود عناصر فسفر، پتاسیم، روی و آهن، نامناسب بودن بافت خاک، نامناسب بودن دمای بیشینه و دمای متوسط بوده است که سبب کاهش درجهٔ تناسب اراضی جهت کشت کلزا به ویژه در شهرستان‌های غرب استان گیلان گردید. در مناطق نسبتاً مستعد غرب استان گیلان می‌توان با انجام اقداماتی از جمله انتخاب ارقام و تاریخ کاشت مناسب، ارائهٔ توصیهٔ کودی مناسب بر اساس انجام آنالیزهای خاک مدون و منظم، بهبود ساختار خاک با انتخاب نظام شخم مناسب جهت جلوگیری از شرایط ماندابی در مزرعه می‌توان این اراضی را از نظر کیفی ارتقا بخشید. نتایج این تحقیق می‌تواند راهبردهای مهمی جهت توسعهٔ کشت کلزا در سطح استان گیلان به سیاست‌گذاران بخش کشاورزی استان ارائه دهد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از سرکار خانم مینا فرج‌زاده بابت بازخوانی متن و ویرایش پیش‌نویس مقاله قدردانی می‌نمایند.

References

Bazkiaee, P.A., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., Rezaei, M., & Araji, H.A. (2024). Multi-criteria GIS-based land suitability analysis for rice cultivation: a case study in Guilan Province, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(7), 680. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12811-y

Darzi-Naftchali, A., Motevali, A., & Keikha, M. (2022). The life cycle assessment of subsurface drainage performance under rice-canola cropping system. *Agricultural Water Management*, 266, 107579. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107579

Davatgar, N., Zare, A., Shakouri Katigari, M., Rezaei, L., Kavousi, M., Sheikholeslam, H., Shah Nazari, M., Kohneh, E., Shirinfekr, E., Bonyadi, A., Adibi, Sh., Moshir Talesh, A., Khodashenas, A., Shokri Vahed, H., Darighgoftar, F., Rahimi Moghadam, S.A., & Ajili Lahiji, A. (2015). Fertility status of paddy soils in Guilan province. *Land Management Journal*, 3(1), 1-13. https://doi.org/10.22092/lmj.2015.103665 [In Persian].

Derakhshan, A., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A.M., Moradi Telavat, M.R., & Andarzian, S.B. (2019). Estimation of thermal thresholds for seedling emergence of spring canola in the field. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 50(1), 59-69. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.253918.654454 [In Persian].

Farzam Sefat, A., Parsinejad, M., Yazdani, M.R., Shariatmadari, J., Noori, H., Moosavi, S.F., & Ejlali, F. (2010). Effect of drainage rate in different growth stages of canola as a second crop in paddy fields (case study: Guilan Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 41(1), 111-119. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008479.1389.41.1.12.1 [In Persian].

Fathizad, H., Pakbaz, N., Sodaiezadeh, H., & Shojaei, S. (2017). Exploring canola planting area using AHP associated with GIS in Meymeh–Zarinabad of Iran. *Spatial Information Research*, 25(3), 371-379. https://doi.org/10.1007/s41324-016-0064-4

Ghadikolaei, S.M., Jahan Far, D., Esmaeil, Y., Morteza, N., & Saedeh, M. (2008). Canola (*Brassica napus* L.) cultivation in rotation after rice under different levels of nitrogen and plant densities. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(5), 500-504. https://doi.org/10.3923/ajps.2008.500.504

Ghafari, A., Cook, H.F., & Lee, H.C. (2000). Integrating climate, soil and crop information: a land suitability study using GIS. *Proceedings of the 4th International Conference on Integration GIS and Environmental Modeling* (GIS/EM4).

Gruber, S., Weber, E.A., & Claupein, W. (2014). Which soils are comfortable for oilseed rape seeds (*Brassica napus*) to survive? *Plant, Soil and Environment*, 60(6), 280-284. https://doi.org/10.17221/155/2014-PSE

Halabian, A.H., & Esmaeili, N. (2017). Land Suitability Evaluation Based on the Climatic Elements for Canola Cultivation Using Fuzzy and AHP model in Kordestan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(4), 133-150. [In Persian].

Hashemi, S.S., & Kiani, F. (2017). Qualitative land suitability assessment for canola and sugar beet cultivation with different FAO methods (Giyan region, Hamedan province). *Applied Soil Research*, 5(2), 16-30. [In Persian].

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei Jouybari, S., & Sadeghi, S. (2012). Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Crop Production*, 5(1), 123-139. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.1.8.7 [In Persian].

Keyhanian, A.M., Mobasser, H.R., Sam Daliri, M., Bakhshipour, S., & Mohammadi, S. (2012). Effect of seed rate and different levels of nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of canola in the second crop after rice in western Mazandaran. *Crop Physiology Journal*, 4(15), 43-57. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1391.4.15.4.8 [In Persian].

Khorshiddoust, A.M., Sobhani, B., Azarm, K., & Amini, J. (2015). Evaluation of environmental capability of west Azerbaijan province in canola cultivation based on AHP method and TOPSIS methods. *Geography and Planning Journal*, 19(52), 141-161. [In Persian].

Li, J., Lu, J., Li, X., Ren, T., Cong, R., & Zhou, L. (2014). Dynamics of potassium release and adsorption on rice straw residue. *PLoS One*, 9(2), e90440. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090440

Malczewski, J. (2004). GIS-based land use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65. https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002

McKenzie, R.H. (2013). Phosphorus fertilizer application in crop production. Alberta Agriculture and Rural Development. 12 p.

Mostafavi Rad, M., Nobahar, A., & Mahboub Khamami, A. (2018). Nutrient management in canola cultivation. Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. [In Persian].

Motourian, H., Khodaei Joghan, A., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., & Torabi, B. (2024). Evaluation of wheat and rapeseed yield gap using boundary line analysis (BLA) in Khorramshahr. *Plant Productions*, 47(3), 373-385. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.43754.2101 [In Persian].

Najafi, M.S., Rasouli, A., & Ashournejad, A. (2014). Implementing of land suitability assessment models for canola cultivation using fuzzy inference system (Case study: west Azerbaijan province). *Geographical Studies of Arid Zones*, 4(15), 113-130. [In Persian].

Nourgholipour, F., Mirseyed Hosseini, H., Tehrani, M.M., Motasharezadeh, B., & Moshiri, F. (2018). Response to phosphorus deficiency stress among winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(3), 515-525. https://dor.isc.ac/dor/10.22059/ijswr.2017.216103.667537 [In Persian].

Office of Statistics and Information Technology, Deputy of Planning and Economic Affairs, Ministry of Jihad Agriculture. (2022). Agricultural statistics, Volume 1: Crop and horticultural products 2021-2022. Ministry of Jihad Agriculture. [In Persian].

Ostovari, Y., Honarbakhsh, A., Sangoony, H., Zolfaghari, F., Maleki, K., & Ingram, B. (2019). GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 103, 479-487. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.051

Payandeh, K., Mojaddam, M., & Dorougar, N. (2018). Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 2(38), 23-37. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1397.10.38.2.4 [In Persian].

Pirbalouti, A.G., & Golparvar, A. (2008). Evaluating agro-climatologically variables to identify suitable areas for rapeseed in different dates of sowing by GIS approach. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(4), 656-660. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2008.656.660

Rabiei, M., Alizadeh, M.R., & Rajabian, M. (2011). Effect of tillage system and rice residue management on grain yield and its components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as second crop in paddy fields. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(2), 147-164. https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110429 [In Persian].

Rabiei, M., Karimi, M.M., & Safa, F. (2004). Effect of planting dates on grain yield and agronomical characters of papeseed cultivars as a second crop after rice at Kouchesfahan. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 35(1), 177-187. [In Persian].

Rabiei, M., & Toosi Kohl, P. (2012). Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Gilan region. *Journal of Crop Production*, 5(1), 151-158. [In Persian].

Rajabian, M., Asghari, J., Ehteshami, S.M.R., & Rabiei, M. (2012). Responses of morphological characteristics, yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as the second crop after rice to plant density and weed interference duration. *Iranian Agricultural Research*, 31(1), 17-32. https://doi.org/10.22099/iar.2012.579 [In Persian].

Rameeh, V. (2015). Combining ability of phenological traits and seed yield in spring rapeseed genotypes. *Plant Breeding and Seed Science*, 71(1), 47-56. https://doi.org/10.1515/plass-2015-0021

Raziei, T. (2017). Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Journal of Earth and Space Physics*, 43(2), 419-439. https://doi.org/10.22059/jesphys.2017.58916 [In Persian].

Roshanali, M., Marsousi, N., & Zakeri, M. (2012). Land suitability evaluation Mazandaran province model based on elements of the climate for the cultivation of rapeseed TOPSIS. *Urban Ecology Research Journal*, 3(6), 67-80. [In Persian].

Saaty, T. L. (1999). Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (ISAHP).

Sadeghi, M., Rahimi-Moghaddam, S., Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E., & Azizi, K. (2025). Evaluation of withholding irrigation on different canola cultivars under autumn cultivation conditions: a simulation study. *Plant Productions*, 48(2), 327-345. https://doi.org/10.22055/ppd.2025.47907.2203

Saeedabadi, R., Najafi, M.S., & Abkharabat, S. (2015). Land suitability assessment in climate change condition, case study: Canola cultivation in west Azerbaijan providence. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(4), 563-582. https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.56050 [In Persian].

Saleem, A., Zulfiqar, A., Saleem, M.Z., Ali, B., Saleem, M.H., Ali, S., Tufekci, E.D., Tufekci, A.R., Rahimi, M., Mostafa, R. M. (2023). Alkaline and acidic soil constraints on iron accumulation by rice cultivars in relation to several physio-biochemical parameters. *BMC Plant Biology*, 23(1), 397. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04400-x

Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A., Ghorbani, M.A., & Shahbazi, F. (2018). Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, 310, 178-190. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.012

Shamgani-Mashhadi, B., Nadi, M., Darzi-Naftchali, A., & Soqanloo, S.S. (2024). Improving sustainability of rice-canola rotation through water and nitrogen management in a humid region. *Agricultural Water Managemen*t, 305, 109106. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109106

Sobhani, B., & Roshanali, M. (2018). Land suitability assessment of Mazandaran province for rapeseed cultivation bBased on multi criteria decision making evaluation methods in GIS environment. *Geography and Urban-Regional Planning Journal*, 8(27), 129-148. https://doi.org/10.22111/gaij.2018.4094 [In Persian].

Sys, I., Van Ranst, E., & Debveye, J. (1991). Land evaluation, part 1: Principles in land evaluation and crop production calculations (Agricultural Publications, No. 7). General Administration for Development Cooperation.

Tedone, L., Verdini, L., & De Mastro, G. (2011). Evaluation of rapeseed cultivation suitability in Apulia with GIS-multicriteria analysis. *Italian Journal of Agronomy*, 6(e16), 101-104. https://doi.org/10.4081/ija.2011.e16

Vigil, M.F., Anderson, R. L., & Beard, W.E. (1997). Base temperature and growing-degree-hour requirements for the emergence of canola. *Crop Science*, 37(3), 844-849. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030025x