



Land Suitability Assessment and Estimation of Rice (*Oryza sativa* L.) Production Potential in the Yaneh-Sar District of Behshahr County

Karim Riahi¹, Hossein Kazemi^{ID 2*}, Afshin Soltani^{ID 1} and Fardin Sadeghzadeh^{ID 3}

1- Agronomy Department, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Horticulture Department, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Soil Sciences Department, Crop Sciences faculty, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

(*- Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

Received: 12-12-2025

Revised: 11-04-2026

Accepted: 22-04-2026

Available Online: 04-04-2026

How to cite this article:

Riahi, K., Kazemi, H., Soltani, A., & Sadeghzadeh, F. (2026). Land suitability assessment and estimation of rice (*Oryza sativa* L.) production potential in the Yaneh-Sar District of Behshahr County. *Journal of Agroecology*, 18(1), 63-80. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96890.1262>

Introduction

Identifying land suitability and potential for various uses is crucial for conserving environmental resources and achieving sustainable agricultural production. The absence of systematic land-use planning can lead to significant socio-economic and environmental damage. Agro-ecological zoning, which integrates environmental data layers such as climate, water, topography, and soil, serves as a vital tool for agricultural planning. It allows for a comprehensive analysis of production possibilities by assessing environmental potentials and constraints, thereby enabling informed decision-making. In Iran, despite the agricultural significance of many regions, the environmental potential of most areas has not been scientifically delineated. This study was conducted to perform detailed agro-ecological zoning and estimate the production potential for rice (*Oryza sativa* L.) in the Yaneh-Sar District of Behshahr County, Mazandaran Province – a region with a distinct, cooler climate compared to other parts of the province, which has faced developmental challenges and agricultural issues such as declining yield per unit area.

Materials and Methods

The agroecological requirements for rice cultivation were first identified through scientific sources and documents. Thematic maps were then prepared for a comprehensive set of variables, including annual precipitation, average/maximum/minimum annual temperatures, total sunshine hours, relative humidity, water resources, topographic features (elevation, slope percentage, and aspect), and soil properties (texture, potassium, phosphorus, nitrogen, copper, manganese, iron, organic matter, electrical conductivity, and pH). Soil sampling was conducted at 128 points across the farmlands of 49 villages in the region, and the samples were analyzed at the central laboratory of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Geostatistical and classical interpolation methods, including Ordinary Kriging, Radial Basis Functions, and Inverse Distance Weighting (IDW), were employed to extrapolate these variables across the study area, with the final method



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96890.1262>

selected based on the lowest Root Mean Square Error (RMSE). The Analytic Hierarchy Process (AHP) was utilized to determine the weight of each environmental criterion, incorporating expert opinions. The weighted digital layers were then integrated within a Geographic Information System (GIS) environment. Land suitability was classified into four categories: highly suitable, suitable, moderately suitable, and unsuitable. Furthermore, the SSM-iCrop2 model, a native crop simulation model for Iran, was used to estimate the potential yield of paddy rice based on meteorological data, soil conditions, crop management practices, and plant parameters.

Results and Discussion

The results of the land suitability assessment revealed that only a small fraction of the agricultural land in the Hezar Jerib District is highly suitable for rice cultivation. Specifically, approximately 2.2% (637 ha) was classified as highly suitable, 16.7% (4,690 ha) as suitable, 40.5% (11,370 ha) as moderately suitable, and 40.4% (11,355 ha) as unsuitable. The highly suitable areas are primarily confined to a narrow strip along the Nekarood River in the northern part of the region, characterized by flat terrain and proximity to water sources. The main factors limiting suitability were identified as steep slopes and inadequate water resources, with about 81% of the land deemed unsuitable or only marginally suitable due to these constraints. The SSM-iCrop2 model output indicated a potential paddy rice yield of about 3.92 tons per hectare for the region's agricultural land units. The current average yield achieved by local farmers was estimated at 3.2 tons per hectare, resulting in a relatively small yield gap of 0.72 tons per hectare. This minor gap is likely attributable to the recent adoption of modern mechanized equipment and could potentially be addressed by optimizing crop management practices, such as adjusting planting dates.

Conclusion

This study demonstrates that only a limited portion of the Hezar Jerib District possesses high suitability for rice cultivation, primarily due to topographic (slope) and water resource limitations. The findings underscore the necessity of aligning agricultural activities with the land's ecological capacity to ensure sustainability. Expanding rice cultivation into non-suitable areas would require intensive inputs and management, potentially leading to environmental degradation and long-term loss of productive resources. Therefore, rice cultivation is recommended only in limited areas that have access to sufficient water and are properly leveled. The small yield gap suggests that significant yield increases through improved management might be challenging under the current cultivation system. Future efforts could explore alternative cultivation methods, such as aerobic rice systems, to enhance water-use efficiency, provided that challenges like weed control and the identification of suitable varieties are addressed.

Keywords: Agro-ecological zoning, AHP, Geographic Information System, SSM-iCrop2

مقاله پژوهشی

جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۸-۶۳

استعدادسنجی اراضی و برآورد پتانسیل تولید برنج (*Oryza sativa* L.) در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر

کریم ریاحی^۱، حسین کاظمی^{۲*}، افشین سلطانی^۱ و فردین صادق زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲

چکیده

شناسایی استعداد و توان سرزمین برای کاربری‌های مختلف به منظور حفظ منابع محیطی و تولید پایدار محصولات کشاورزی در راستای توسعه پایدار ضروری به نظر می‌رسد، به‌طوری‌که عدم توجه به پهنه‌بندی اصولی سرزمین می‌تواند زیان‌های اقتصادی-اجتماعی و محیط زیستی فراوانی را به بار آورد. پژوهش حاضر به منظور پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی و برآورد پتانسیل تولید برنج (*Oryza sativa* L.) در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر (استان مازندران) انجام شد. در گام اول، نیازهای زراعی-بوم‌شناختی گیاه برنج با استفاده از منابع و اسناد علمی تعیین و شناسایی شده و سپس نقشه‌های موضوعی انواع متغیرهای شامل بارش سالانه، دماهای متوسط، بیشینه و کمینه سالانه، مجموع ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، منابع آبی، متغیرهای توپوگرافی شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، جهت شیب و ویژگی‌های خاک مانند بافت، پتاسیم، فسفر، نیتروژن، مس، منگنز، آهن، ماده آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک تهیه گردید. نمونه‌های خاک از طریق نمونه‌گیری مستقیم از ۱۲۸ نقطه از مزارع روستاهای منطقه تهیه و در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تجزیه شد. جهت تخمین و تعمیم این متغیرها به سطح منطقه مورد مطالعه از روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار و کلاسیک مانند کریجینگ معمولی، توابع پایه شعاعی و وزن‌دهی معکوس فاصله و براساس کمترین برآورد آماره‌های خطای برآورد (RMSE) استفاده گردید. در ادامه، جهت تعیین وزن معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. لایه‌های رقومی عوامل محیطی در محیط GIS پس از اختصاص وزن AHP مختص به هر لایه، روی هم‌گذاری و تلفیق شده‌اند. پهنه‌بندی اراضی در چهار طبقه بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد و غیرمستعد انجام شد. همچنین در این مطالعه، مدل SSM-iCrop2 برای برآورد پتانسیل تولید مورد استفاده قرار گرفت. این شبیه‌ساز، مقدار عملکرد پتانسیل را بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت زراعی و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌نماید. نتایج حاصل از تطابق اراضی کشاورزی با نیازهای زراعی و محیطی برنج نشان داد که تنها حدود ۲/۲ درصد از زمین‌های زراعی منطقه دارای پتانسیل بسیار مستعد جهت کشت برنج بوده که این مناطق شامل بخش کوچکی از زمین‌های حاشیه رودخانه نکارود می‌باشد. همچنین سهم پهنه مستعد ۱۶/۷ درصد، نیمه‌مستعد ۴۰/۵ درصد و پهنه غیرمستعد ۴۰/۴ درصد برآورد شد. به‌طور کلی، در بخش‌هایی که به منابع آبی دسترسی دارند و تسطیح شده‌اند، کشت برنج به‌صورت محدود امکان‌پذیر است. همچنین با تغییر در الگوی کاشت کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. روش تولید برنج به‌صورت هوازی می‌تواند باعث کاهش مصرف آب شود. براساس نتایج حاصل از خروجی مدل SSM-iCrop2، واحدهای اراضی کشاورزی منطقه در تولید شلتوک برنج دارای پتانسیل تولید حدود ۳/۹۲ تن در هکتار شلتوک می‌باشد و میزان تولید فعلی کشاورزان حدود ۳/۲ تن در هکتار می‌باشد که حدود ۰/۷۲ تن در هکتار خلأ عملکرد تولید شلتوک برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل SSM-iCrop2، AHP

۱- گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- گروه باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(Email: hkazemi@gau.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96890.1262>

مقدمه

استعدادسنجی یک منطقه عبارت است از شناسایی و توانمندی‌ها، امکانات و محدودیت‌های منطقه از نظر منابع محیطی پایدار، شامل توپوگرافی، خاک، زمین، پوشش گیاهی و سایر موارد. منابع بوم‌شناختی ناپایدار شامل منابع آب، اقلیم و حیات وحش، برای انواع کاربری‌ها مانند کشاورزی (Makhdoom, 2011) است. از آنجایی که مناطق کشت در اکثر مناطق کشور برپایه مطالعات کارشناسی و علمی نیست، پتانسیل محیطی اکثر مناطق کشور در حال حاضر به روش‌های علمی و کارشناسی چندان مشخص نیست (Kamali et al., 2008). در همین راستا، تعیین کاربری مناسب اراضی به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب و خاک و جلوگیری از تخریب منابع می‌تواند گامی مؤثر در راستای توسعه پایدار باشد (Peato, 2007).

پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی، تلفیقی از لایه‌های اطلاعاتی محیطی است که در آن منابع اقلیم، آب، توپوگرافی و شرایط خاک به‌صورت یک مجموعه همگن زیست‌محیطی در ارتباط با سامانه‌های زراعی، کاربری اراضی و تنوع زیستی بررسی می‌شود. همچنین یک ابزار مهم در برنامه‌ریزی کشاورزی محسوب می‌شود و با تلفیق اجزای اصلی و تأثیرگذار کشاورزی، امکان بررسی همه‌جانبه تولید را فراهم و پتانسیل‌ها و محدودیت‌های محیطی بررسی و تصمیم‌گیرندگان عرصه کشاورزی با داشتن یک نقشه کامل و جامع به‌جای نقشه‌های واحد و پراکنده، تصمیمات درستی خواهند گرفت (Ghaffari et al., 2002). سازمان خواروبار ملل متحد در سال ۱۹۷۸ به‌منظور بهینه‌سازی استفاده از زمین، آب و سایر منابع طبیعی، مدلی را تحت عنوان A.E.Z (پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی)^۱ ارائه و پس از تحقیقات و آزمایش‌های مختلف در سال ۱۹۸۳ آن را برای کلیه کشورها توصیه کرد. روش به‌کاررفته در این مدل در کمی نمودن متغیرهای اقلیمی، خاک و سایر متغیرهای فیزیکی در تعیین مناطق مستعد جهت کشت محصولات مختلف با توجه به نیازمندی‌های محیطی و مدیریتی روشی مناسب است (Ahmadizadeh, 2003). در این مدل، جهت ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و تحلیل‌های فضایی از روش لایه‌های اطلاعاتی جغرافیایی استفاده و پایگاه اطلاعاتی مورد نیاز در آن تشکیل می‌شود و مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد. نتیجه تمام

تحقیقاتی که براساس این مدل صورت گرفته، شکل‌گیری واحدهای همگنی است که به‌عنوان واحدهای بوم‌شناختی-کشاورزی محسوب می‌شوند. این واحدها از نظر خصیصه‌های اقلیمی و محیطی ویژگی‌های واحدی را ارائه می‌دهند و به یک برنامه‌ریزی یکسانی نیاز دارند. این روش ابزار قدرتمندی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد تا توانایی تحلیل‌های مختلف فضایی و مدل‌سازی را از طریق آن انجام دهند (Mohammadi et al., 2007; Tajvidi, 2002).

در ایران پژوهش‌های متعددی با موضوع تناسب اراضی به‌صورت منطقه‌ای انجام شده است و پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که این مطالعات روند تکاملی داشته و محققان، ابزارهای و مدل‌های متعددی را برپایه سامانه اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی‌های چندمعیاره استفاده نموده‌اند. در مطالعه‌ای، مساواتی و سید جلالی (Mosavati, & Seiedjalali, 2002) تناسب اراضی و برآورد پتانسیل تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) را در مناطق شور استان گلستان انجام دادند که در آن تناسب اراضی برای گندم آبی در حالت‌های مختلف شوری از تناسب خوب تا نامناسب تعیین گردید. همچنین پتانسیل تولید اراضی در مناطق شور استان گلستان در شرایط آبی به‌روش فائو از ۱۲۰۳ کیلوگرم تا ۷۴۸۲ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. فرج‌زاده و همکاران (Farajzadeh et al., 2007) با ارزیابی منابع اقلیمی و محیطی شهرستان سبزوار با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های آماری، تناسب اراضی این منطقه را برای کشت کلزا (*Brassica napus* L.) مشخص کردند. در این پهنه‌بندی، درجه-روز رشد، دمای متوسط، شیب و قابلیت هدایت الکتریکی (EC)^۲ بیشترین تأثیر را در تعیین مناطق مستعد داشتند. اشرف (Ashraf, 2011)، پتانسیل تولید منطقه‌ای واقع در شمال دامغان در استان سمنان را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بر مبنای روش فائو برای کاشت گندم تعیین کرد. پتانسیل تولید زمین در این منطقه بین ۳۸۰ و ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. پایین بودن پتانسیل تولید زمین در برخی واحدهای نقشه به‌علت محدودیت شوری و قلیائیت تشخیص داده شد. کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2016) نشان دادند که ۲۳/۴۸ درصد از منطقه گند کاووس برای کشت باقلا (*Vicia faba* L.) بسیار مستعد، در حالی که ۲۵/۰۳ درصد مستعد، ۲۵/۳۸ درصد نیمه‌مستعد و ۲۶/۱۱ درصد از کل اراضی

خاک (بافت، pH، هدایت الکتریکی، آهک، ماده آلی و عمق خاک) به عنوان معیار در تعیین طبقات مناسب جهت تحلیل تناسب زمین برای کشت گندم و تهیه نقشه تناسب زمین با ادغام الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ^۱ فازی با سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. نتایج نشان داد که اراضی بسیار مستعد، متوسط و ضعیف برای کشت گندم به ترتیب ۲/۶۳، ۹/۸۵ و ۳۲/۵۹ درصد از مساحت منطقه را شامل می شود. مطالعه ای با هدف بررسی تناسب زمین برای کاشت محصولات کشاورزی و گیاهان بومی در منطقه شمال غربی اردن و شناسایی اراضی زراعی جدید با تکیه بر مجموعه ای از متغیرهای محیطی شامل خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک با تهیه ۵۳ نمونه خاک انجام شد. نتایج نشان داد که منطقه برای کشت گیاهان زراعی مانند گندم دارای توان ۳۵/۶ درصد، برای جنگل ۳۳/۱ درصد، برای چمنزارها ۱۹/۴ درصد و برای کشت سبزیجات ۳۲/۲ درصد توان دارد (Al-Sababhhah, 2024). یوسف (Yousif, 2024)، مطالعه ای با هدف برآورد تناسب محصول و قابلیت زمین برخی از مناطق احیای جدید در امتداد محور الدبعه در صحرای شمال غربی مصر را با تهیه ۱۱۵ نمونه از خاک و تجزیه و تحلیل های آزمایشگاهی برای تعیین شاخص های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از نرم افزار ALEsArid-GIS انجام داد. نتایج تجزیه و تحلیل تناسب اراضی نشان داد که ۱۶/۷ درصد و ۸/۹۸ درصد از مساحت مورد مطالعه به ترتیب در طبقه بندی S₁ (بسیار مناسب) برای گندم و زیتون (*Olea europaea* L.) قرار گرفتند.

استان مازندران با داشتن آبوهوای معتدل و بارش مطلوب، یکی از مناطق مستعد در زمینه تولید انواع محصولات کشاورزی است. میزان تولید محصولات کشاورزی در این استان، سالیانه شش میلیون تن برآورد می شود. این استان در ۱۴ محصول حائز رتبه های اول و دوم کشور است و رتبه نخست را در تولید برنج و مقام دوم در تولید کلزا دارد. براساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران، سطح زیرکشت برنج در این استان در سال زراعی ۱۴۰۳ حدود ۲۲۸ هزار هکتار ثبت شده است. منطقه هزارجریب شهرستان بهشهر جزء مناطق کوهستانی و کوهپایه ای استان مازندران و دارای اقلیم سرد و در کل محیطی متفاوت نسبت به سایر مناطق مازندران می باشد. این منطقه به دلیل فاصله زیاد از مرکز استان و صعب العبور بودن مسیر دسترسی، از نظر شاخص های توسعه ای رشد مناسبی نداشته است. در

کشاورزی برای تولید محصول غیرمستعد می باشد. از جمله عوامل محدودکننده رشد گیاه باقلا، شوری خاک، مواد آلی کم، بارندگی کم، محتوای کلسیم بالا و کمبود مقادیر فسفر و آهن در منطقه اعلام شد. کاظمی و آکینچی (Kazemi & Akinci, 2018)، مطالعه ای به منظور تعیین تناسب کاربری اراضی استان گلستان برای زراعت دیم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصمیم گیری چندمعیاره انجام دادند. نتایج نشان دادند که برخی از متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارندگی سالانه و ساعات آفتابی از عوامل محدودکننده برای کشت دیم در این منطقه نیستند. پناه نژاد و همکاران (Panah Nezhad et al., 2022) با بررسی تناسب بوم شناختی برای کاربری زراعت آبی در بخشی از اراضی حوضه نازلوچای نشان دادند که ۴۲ درصد از منطقه فاقد توان، ۲۸/۵ درصد منطقه دارای بالاترین توان، ۱۷/۵ درصد سطح دارای توان متوسط و ۱۲ درصد از منطقه دارای توان کم برای کشت های زراعی آبی هستند. دادرسی و همکاران (Dadrasi et al., 2025)، تناسب اراضی برنج و راهبردهای سازگاری تحت تغییرات اقلیم را در ۱۹ منطقه در سطح جهانی انجام دادند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی به طور قابل توجهی تناسب اراضی برای کشت برنج را در همه مناطق تغییر می دهد، به طوری که مناطق گرمسیری مانند جنوب شرقی آسیا، جنوب آسیا و شرق آفریقا به دلیل تنش گرما و بارندگی نامنظم، کاهش سطح اراضی مناسب برای نظام های آبیاری و دیم را تجربه می کنند. در مقابل، مناطق معتدل مانند آسیای شرقی، آمریکای جنوبی و اروپای شرقی شاهد افزایش سطح طبقه مناسب هستند که ناشی از فصل های رشد طولانی است. آیمن و همکاران (Aymen et al., 2021)، تناسب سرزمین را برای کاربری کشاورزی براساس پنج معیار بارندگی، دما، درصد شیب، انواع خاک و توزیع آب چاه ها ارزیابی کردند. سپس لایه های مختلف زمین با استفاده از روش کدگذاری تناسب اراضی برای تهیه نقشه های تناسب مناطق دیم و آبی با استفاده از روش هم پوشانی وزنی تهیه شد. نتایج نشان داد که تنها حدود (دو درصد) از کل مساحت برای کشاورزی وابسته به بارندگی، بسیار مناسب است. در حالی که حدود ۱/۴ درصد برای محصولات آبی مناسب می باشد. دلیل اصلی پایین بودن سطح مناسب زمین برای کشاورزی، حاصلخیزی بسیار پایین خاک و کمبود آب بود. کلیک و همکاران (Kilic et al., 2022) در حوضه واقع در منطقه پشیلو مارک ترکیه، از مشخصات توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت) و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

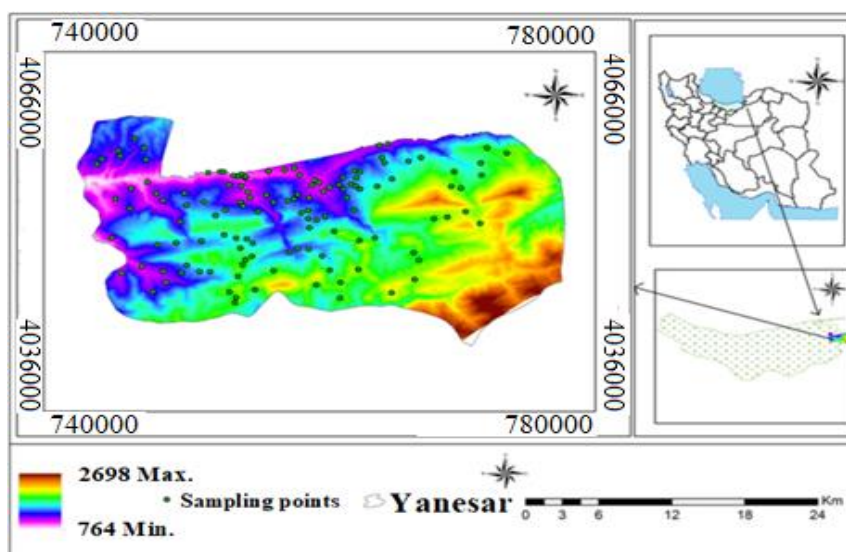
مازندران، گلستان و سمنان است. این بخش از نظر هندسی تقریباً به شکل مستطیل است. از شمال به شهرستان گلوگاه و شهرستان بندرگز، از مغرب به شهرستان کردکوی، از جنوب شرقی و شرق به شهرستان دامغان و از جنوب به شهرستان نکا محدود است (شکل ۱). بخش یانه‌سر دارای دو دهستان به نام‌های شهدا با وسعت ۵۱۹ کیلومتر مربع و عشرستاق با وسعت ۲۴۳ کیلومتر مربع و با مرکزیت روستای بیشه‌بند و دارای ۵۱ روستا و آبادی بوده که از نظر اداری تابع شهرستان بهشهر می‌باشد (Riahi, 2000). براساس آخرین اطلاعات دریافتی از مراکز خدمات کشاورزی منطقه، سطح زیرکشت محصولات زراعی مورد مطالعه در منطقه شامل گندم ۱۰۵۰۰ هکتار، جو ۲۸۰۰ هکتار، عدس ۵۰۰ هکتار و برنج ۲۷۰ هکتار می‌باشد. همچنین منطقه دارای کاربری‌های باغی، اراضی زراعی آبی، مرتع، جنگل و اراضی زراعی دیم می‌باشد. سطح اراضی جنگلی ۶۷/۲ درصد، اراضی کشاورزی ۲۵/۱ درصد و اراضی مرتعی با ۴/۳ درصد وسعت منطقه را در بر می‌گیرد.

بخش کشاورزی با توجه به عدم توجه کافی، این منطقه دارای مشکلات و مسائلی مانند کاهش تولید در واحد سطح، استفاده نادرست از سرزمین و منابع محیطی و ورود بدون مطالعه برخی از محصولات به الگوی کشت منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد (Riahi, 2000). با توجه به افزایش تمایل کشاورزان به کشت برنج در سال‌های اخیر، این مطالعه به منظور استعداده‌سنجی اراضی و نیز برآورد پتانسیل تولید برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

بخش یانه‌سر یکی از بخش‌های سه‌گانه شهرستان بهشهر (مازندران) است که در ناحیه کوهستانی البرز واقع شده است. این بخش که از دیرباز منطقه هزار جریب نامیده می‌شود، بین ۳۶ درجه ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. یانه‌سر در انتهای جنوب شرقی استان مازندران و محل اتصال سه استان



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌گیری در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران
Fig. 1- Study area and location of sampling points in Yanesar district of Behshahr county, Mazandaran province

لایه‌های محیطی

برای تهیه نقشه‌های رقومی، ویژگی‌های خاک اراضی کشاورزی در تابستان سال ۱۳۹۹، نمونه‌برداری از مزارع انجام شد. با توجه به موقعیت روستاهای منطقه، به‌طور تصادفی وارد مزارع شده و نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی به‌روش W از هر مزرعه تهیه شد.

موقعیت هر نقطه را با دستگاه مکان‌یاب جغرافیایی جهانی (GPS)^۱ مدل گارمین لمسی ثبت و در مجموع تعداد ۱۲۸ نمونه خاک از ۴۹ روستای منطقه تهیه شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و وجود

1- Global Positioning System

بارش) از روش‌های زمین‌آمار مانند IDW، Kriging و توابع شعاعی استفاده گردید. در نهایت، براساس مقدار کمترین مقدار خطا، روش IDW برای تولید نقشه‌ها انتخاب شد. همچنین لایه پتانسیل آب زیرزمینی از اطلاعات مربوط به چشمه‌های موجود در منطقه تهیه شد. اطلاعات آن از مدیریت آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه و پس از تهیه لایه رستری، پتانسیل آب زیرزمینی اراضی کشاورزی در چهار سطح شامل پربازده، خوب، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی شد.

مدل استعدادسنجی اراضی

برای مکان‌یابی مناطق مستعد کشت گیاه زراعی نیاز به تطبیق خصوصیات و نیازهای بوم‌شناختی گیاه برنج با شرایط محیطی منطقه می‌باشد. در این تحقیق به منظور تطبیق نیازمندی‌های محیطی گیاه زراعی برنج در نظام کشت نشایی با خصوصیات اراضی، براساس روش محدودیت ساده انجام شد. در ابتدا نیازهای زراعی و بوم‌شناختی گیاه زراعی برنج از منابع و اسناد کتابخانه‌ای، مقالات، پایان‌نامه‌ها و مشاوری با کارشناسان مراکز دانشگاهی و تحقیقات کشاورزی استان مازندران تهیه گردید. پس از تهیه جدول نیازهای بوم‌شناختی گیاه (جدول ۱) درجه‌بندی آن‌ها براساس روش پیشنهادی سایز و همکاران (Sys et al., 1991) و غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2000) انجام و براساس متغیرهای موجود در جدول اطلاعات مورد نیاز در محیط ArcMap تهیه شد (شکل ۲). طبقه‌بندی و رتبه‌بندی هر لایه پس از تهیه لایه‌ها براساس روش محدودیت ساده و جدول نیازهای محیطی برنج در چهار طبقه بسیار مستعد، مستعد، متوسط و غیرمستعد صورت گرفت (جدول ۲) و لایه رستری آن‌ها تهیه شد. از آنجایی که عوامل محیطی جهت تعیین تناسب اراضی و کشت محصول فراوان بوده و دارای اهمیت یکسانی نمی‌باشند، برای ارزیابی دقیق‌تر لازم است که اهمیت نسبی هر معیار مشخص گردد. جهت تعیین اهمیت و ارزش متغیرها از وزن‌ها و ضرایب به‌دست‌آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد (شکل ۳). در انتها، استعدادسنجی و پهنه‌بندی مناطق برای تولید گیاه برنج براساس (جدول ۲) به‌روش هم‌پوشانی وزنی انجام گرفت. نقشه‌ها در چهار پهنه، چگونگی انطباق نیازهای گیاه زراعی مدنظر با شرایط محیطی منطقه را نشان داد.

مناطق صعب‌العبور، بهترین روش برای نمونه‌برداری، روش تصادفی تشخیص داده شد. وضعیت پراکنش نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری هوا خشک گردید و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده و در ادامه اقدام به تجزیه آزمایشگاهی نموده و عناصر و ویژگی‌های خاکی مانند شوری به‌روش عصاره‌گیری از گل اشباع و دستگاه شوری‌سنج، اسیدیته به‌روش تهیه گل اشباع و دستگاه pH متر، بافت خاک به‌روش هیدرومتری، آهن و مس به‌روش DTPA لیندسی و نیتروژن، پتاسیم به‌وسیله دستگاه فلیم فوتومتر، فسفر به‌روش اولسن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر، نیتروژن به‌روش کجلدال، ^۱ TNV به‌روش تیتراسیون، ماده آلی به‌روش والکلی بلاک و وزن مخصوص ظاهری خاک به‌روش سیلندر اندازه‌گیری شد. پس از آماده‌سازی، داده‌ها به نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ وارد شد و در ادامه برای فراخوانی در محیط ArcGIS 10.8 مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه نقشه از انواع روش‌های زمین‌آمار مانند IDW^۲، Kriging و توابع پایه شعاعی استفاده گردید، در نهایت براساس مقدار کمترین مقدار خطا، بهترین روش برای تهیه نقشه انتخاب شد. در ادامه لایه تیپ و واحد اراضی، از معاونت برنامه‌ریزی استانداری مازندران تهیه شد. سپس محدوده مورد مطالعه از آن جدا و سپس برحسب نوع تیپ واحد اراضی طبقه‌بندی شد. لایه‌های شیب، جهات شیب و ارتفاع از سطح دریا در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از مدل رقومی ارتفاع (DEM^۳) با اندازه سلول ۳۰ متری تهیه گردید.

برای تهیه نقشه رقومی عوامل اقلیمی با توجه به عدم وجود ایستگاه هواشناسی در منطقه یانه‌سر شهرستان بهشهر، از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در اطراف منطقه که در سه استان مازندران، گلستان و سمنان قرار داشتند، شامل هم‌دید، باران‌سنجی و اقلیم‌شناسی استفاده گردید. لایه‌های اقلیمی منطقه از ۱۳ ایستگاه هم‌دید و باران‌سنجی واقع در حاشیه محدوده تحقیق که شامل دمای کمینه، بیشینه و متوسط از سال‌های ۱۳۸۳-۱۴۰۱ بود، از اداره آب منطقه‌ای و هواشناسی سه استان مازندران، گلستان و سمنان تهیه شد. سپس برای تهیه نقشه وضعیت اقلیمی منطقه (دما و

- 1- Total Neutralizing Value
- 2- Inverse distance weighting
- 3- Digital Elevation Model

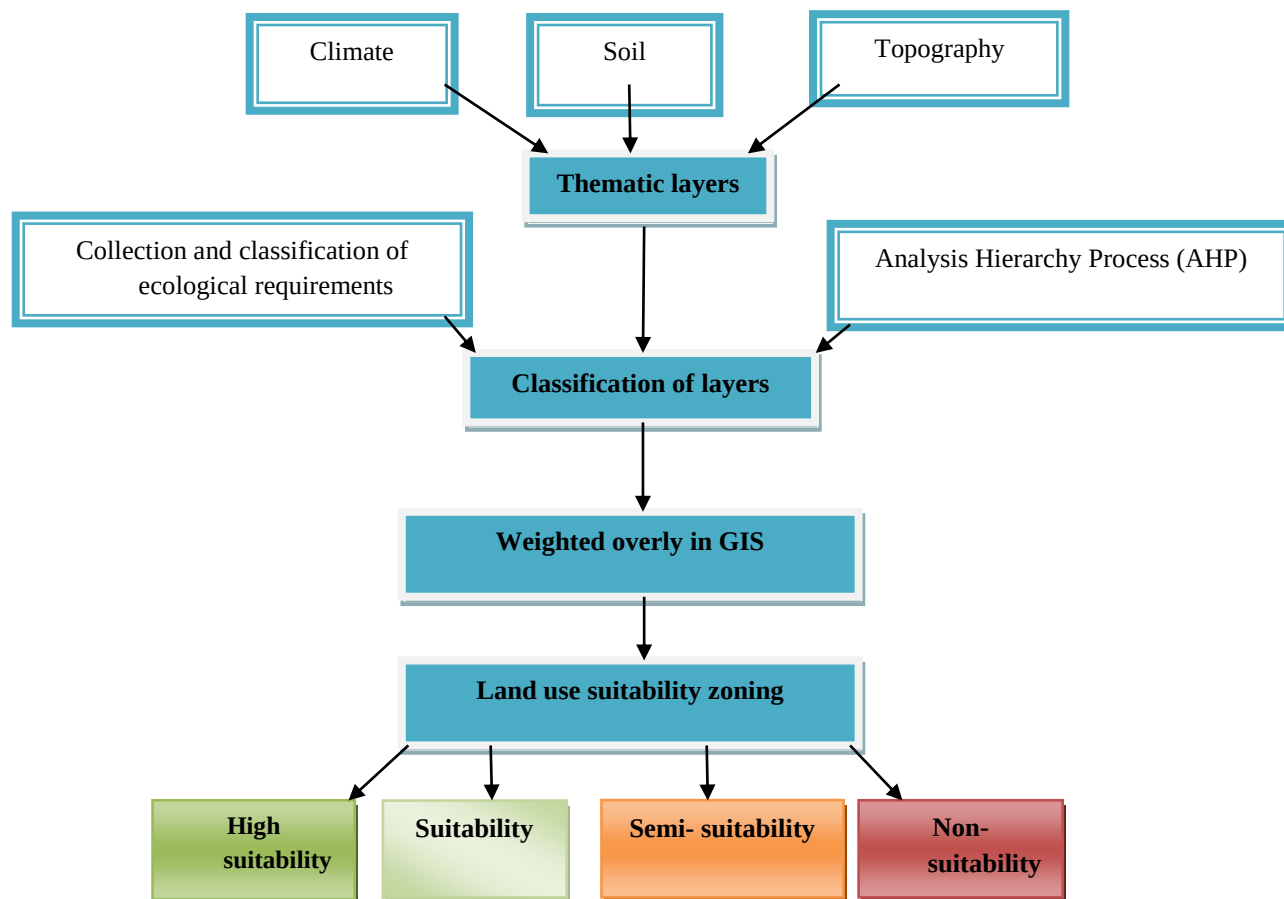
جدول ۱- نیازهای بوم‌شناختی گیاه برنج (Kazemi, 2013)
Table 1- Ecological requirements of rice (Kazemi, 2013)

متغیر Variable	بسیار مستعد (خیلی مناسب) Highly suitable (S ₁)	مستعد (نسبتاً مناسب) Moderately suitable (S ₂)	نیمه‌مستعد (ضعیف) Marginally suitable (S ₃)	غیرمستعد (نامناسب) Not suitable (N)
میزان بارش سالانه Annual precipitation (mm)	1000<	700-1000	500-700	<500
دمای متوسط سالانه Average annual temperature (°C)	22-27	18-22 27-32	12-18 32-37	<12 37<
دمای کمینه سالانه Average minimum temperature (°C)	12-17	10-12	<10	<10
دمای بیشینه سالانه Average maximum temperature (°C)	25-30	20-25 30-35	35-40	40<
شوری خاک EC (dS.m ⁻¹)	0-3	3-5	5-8	7<
شاخص واکنش خاک pH	5.5-6.5	6.5-7.5	4.5-5.5	<4.5 7.5<
بافت خاک Texture	رسی سیلتی، لومی رسی، رسی و لومی رسی سیلتی Silty clay, clay loam, clay, silty clay loam	لومی‌شنی، رسی لومی و رسی‌شنی Loam, sandy, loam clay, sandy clay	لومی، لومی رسی و لومی سیلتی Loam, clay loam, silty loam	شنی لومی و شنی Loam sandy, sandy
شیب Slope (%)	0-3	3-6	6-8	8<
جهت شیب Slope aspect	بدون جهت، جنوبی و جنوب شرقی Falat, south, eastsout	شرقی و شمال شرقی Eastern, eastnorth	جنوب غربی و شمال غربی West south. West north	غربی و شمالی West, north
ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	0-400	400-800	800-1400	1400<
آهن خاک Fe (mg.kg ⁻¹)	10-15	15-18 8-10	18-20 5-8	20< <5
مس خاک Cu (mg.kg ⁻¹)	0/1-1/9	1-1/2	2-6	6< <0/9
فسفر خاک Phosphorous (mg.kg ⁻¹)	10-12	12-15 7-10	15-18 5-7	18< <5
پتاسیم خاک Potassium (mg.kg ⁻¹)	200-250	150-200 250-300	100-150	300< <100
نیتروژن خاک (%) Nitrogen	1<	1-0/7	0/5-0/7	<0/5
ماده آلی خاک Orgince matter (%)	3<	2-3	1-2	<1
آهک خاک Total neutralizing value (TNV)	20-40	20-25	25-50	50< <20

جدول ۲- شاخص‌های مورد نیاز جهت پهنه‌بندی اراضی (Ghaffari et al., 2000)

Table 2- Indices for land suitability zoning (Ghaffari et al., 2000)

وضعیت تولید محصول Crop production status	پهنه Zone
۸۰-۱۰۰ درصد پتانسیل تولید آن محصول در این پهنه وجود دارد. This zone possesses 80-100% of the potential yield for that crop.	بسیار مستعد (خیلی مناسب) Highly suitable (S ₁)
۶۰-۸۰ درصد پتانسیل تولید آن محصول در این پهنه وجود دارد. This zone possesses 60-80% of the potential yield for that crop.	مستعد (نسبتاً مناسب) Moderately suitable (S ₂)
۴۰-۶۰ درصد پتانسیل تولید آن محصول در این پهنه وجود دارد. This zone possesses 40-60% of the potential yield for that crop.	نیمه‌مستعد (ضعیف) Marginally suitable (S ₃)
< ۴۰ درصد پتانسیل تولید آن محصول در این پهنه وجود دارد. This zone possesses less than 40% of the potential yield for that crop.	غیرمستعد (نامناسب) Not suitable (N)



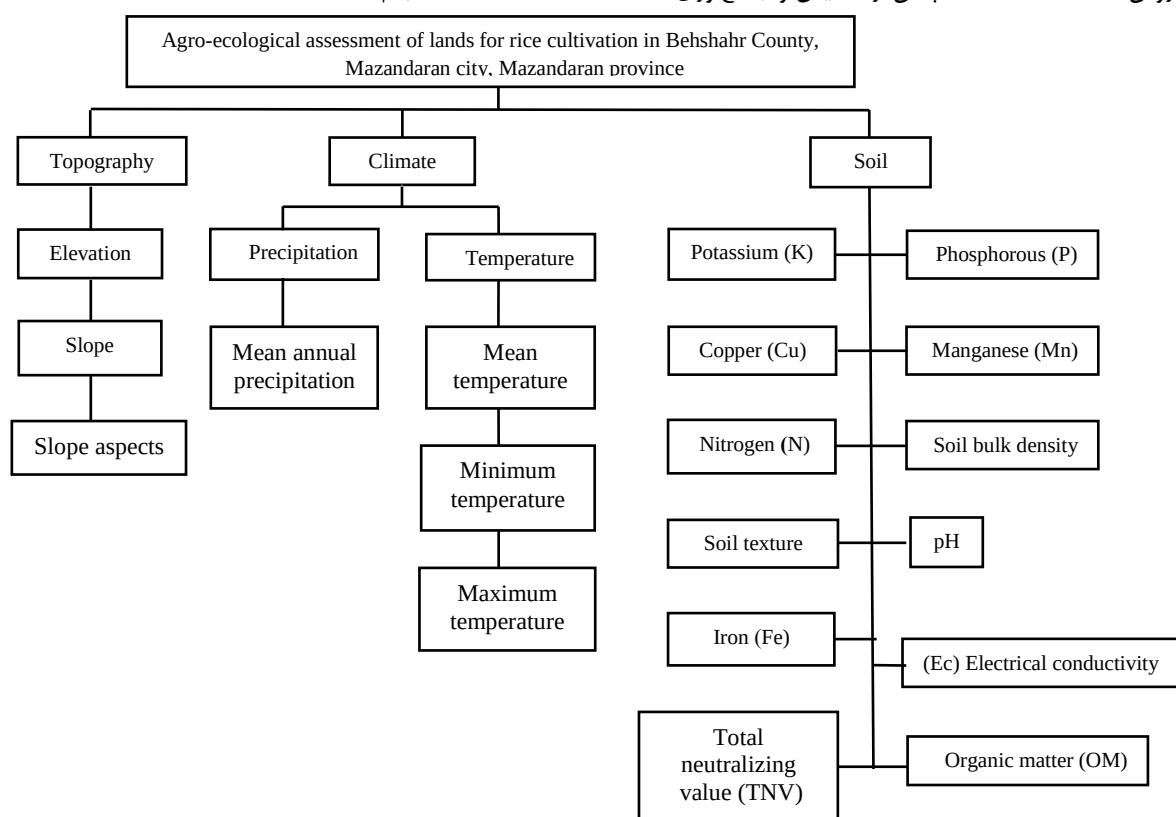
شکل ۲- نمودار جریان‌ی ارزیابی تناسب اراضی زراعی جهت کشت برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 2- Flowchart of the land suitability assessment process for rice cultivation in the Yaneh-sar District of Behshahr County, Mazandaran province

سطح سوم قرار گرفتند (شکل ۳). برای جمع‌آوری داده‌ها و وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسش‌نامه AHP استفاده شد. پرسش‌نامه‌ها شامل مقایسه‌های مشترک برای کلیه عوامل تأثیرگذار در مکان‌یابی گیاه زراعی برنج بوده که توسط ۲۵ کارشناس خبره برای هر گیاه

برای ایجاد درخت سلسله‌مراتبی AHP در سطح اول هدف تحقیق، یعنی استعدادسنجی کشت برنج در اراضی کشاورزی یانه‌سر قرار گرفت. معیارها شامل اقلیم، توپوگرافی و خاک در سطح دوم قرار گرفتند. هرکدام از معیارها به زیرمعیارهایی تقسیم شدند. زیرمعیارها در

تکمیل گردید. برای سنجش پایایی پرسش نامه به همان ضریب ناسازگاری روش AHP اکتفا شد. پس از تکمیل و جمع آوری پرسش نامه ها، تجزیه و تحلیل آن ها به وسیله نرم افزار Expert Choice نسخه ۱۱ انجام شد.



شکل ۳- درخت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل تأثیرگذار بر استعدادسنجی کشت برنج
Fig. 3- Analytic Hierarchy Process (AHP) model tree of factors influencing rice cultivation potential

جدول ۳- مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی (Ghodsipour, 2012)

Table 3- Preference values for pairwise comparisons (Ghodsipour, 2012)

مقدار عددی	ترجیحات
Numerical value	Preference
9	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر و یا کاملاً مطلوب تر Extremely preferred / important (absolute dominance)
7	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی Very strongly preferred / important
5	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی Strongly preferred / important
3	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر Moderately preferred / important (slight dominance)
1	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان Equally preferred / important (equal importance)
2,4,6,8	ترجیحات بین فواصل Intermediate values (used for compromise between the above judgments)

در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، پس از تشکیل درخت سلسله مراتبی و تهیه پرسش نامه، معیارها و زیرمعیارها

شده از مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استانهای کشور مقایسه گردید تا مشخص شود که پیش‌بینی‌های مدل تا چه اندازه با اندازه‌گیری‌های واقعی انطباق دارد. آماره‌های مورد استفاده برای بررسی دقت مدل، ضریب تغییرات (CV^2)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^2$) و ضریب همبستگی (r) بودند. وجه تمایز این مدل نسبت به سایر مدل‌های موجود، بومی بودن آن می‌باشد. تعیین اقلیم این منطقه با استفاده از وبگاه گیگا (Gyga) محاسبه شده است.

نتایج و بحث

برای تهیه نقشه متغیرهای محیطی، روش‌های مدل‌های مختلف درون‌یابی اجرا، سپس مناسب‌ترین مدل براساس مقادیر برآورد خطا ($RMSE$) تعیین گردید. با توجه به جدول ۴، مناسب‌ترین مدل برای اکثر پارامترها روش کریجینگ بود. در مطالعه‌ای مشخص شد که روش‌های کریجینگ و کو-کریجینگ بهترین روش برای تخمین برآورد شوری در منطقه لنجان استان اصفهان است (Mashayekhi, et al., 2007). نقشه پراکنش برخی از متغیرهای محیطی در شکل ۴ نشان داده شده است.

خروجی نقشه‌های اقلیمی نشان می‌دهد که میزان بارش، رطوبت نسبی، میانگین دمای حداقل، متوسط و حداکثر، از غرب منطقه به شرق روند کاهشی دارد. منطقه از نظر بافت خاک دارای بافت‌های مختلفی شامل رسی، لومی-رسی، لومی، رسی سیلتی، لومی رسی سیلتی و لومی سیلتی می‌باشد.

نتایج حاصل از تطابق اراضی کشاورزی با نیازهای زراعی و محیطی برنج در نظام کشت نشایی نشان داد که تنها حدود ۲/۲ درصد از زمین‌های زراعی منطقه دارای پتانسیل بسیار مستعد جهت کشت برنج، حدود ۱۶/۷ درصد از زمین‌های زراعی دارای پتانسیل مستعد، حدود ۴۰/۵ درصد دارای پتانسیل نیمه‌مستعد و حدود ۴۰/۴ درصد نیز دارای پتانسیل غیرمستعد جهت کشت برنج می‌باشند (جدول ۵). با توجه به نتایج ذکرشده، مهم‌ترین دلایل استعداد پایین و عدم استعداد زمین‌های منطقه برای کشت برنج، وجود شیب در زمین‌های منطقه و همچنین نیاز آبی برنج در نظام کشت نشایی می‌باشد که براین اساس، حدود ۸۱ درصد از زمین‌های منطقه غیرقابل کشت برای برنج تشخیص داده شد و تنها حدود ۱۹ درصد از زمین‌های

به‌صورت زوجی با هم به‌صورت دوبه‌دو مقایسه گردید. در این روش ۲۵ کارشناس زراعت، قضاوت‌های ساده‌ای را از طریق سلسله مراتبی ایجاد شده تا رسیدن به اولویت برای تمامی گزینه‌ها انجام دادند. مقایسات زوجی این تحقیق در قالب ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی و براساس طیف نه قسمتی قدسی‌پور (Ghodsipour, 2012) صورت گرفت (جدول ۳). برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها ضریبی به‌نام ضریب ناسازگاری (I.R.) محاسبه شد.

برآورد پتانسیل تولید

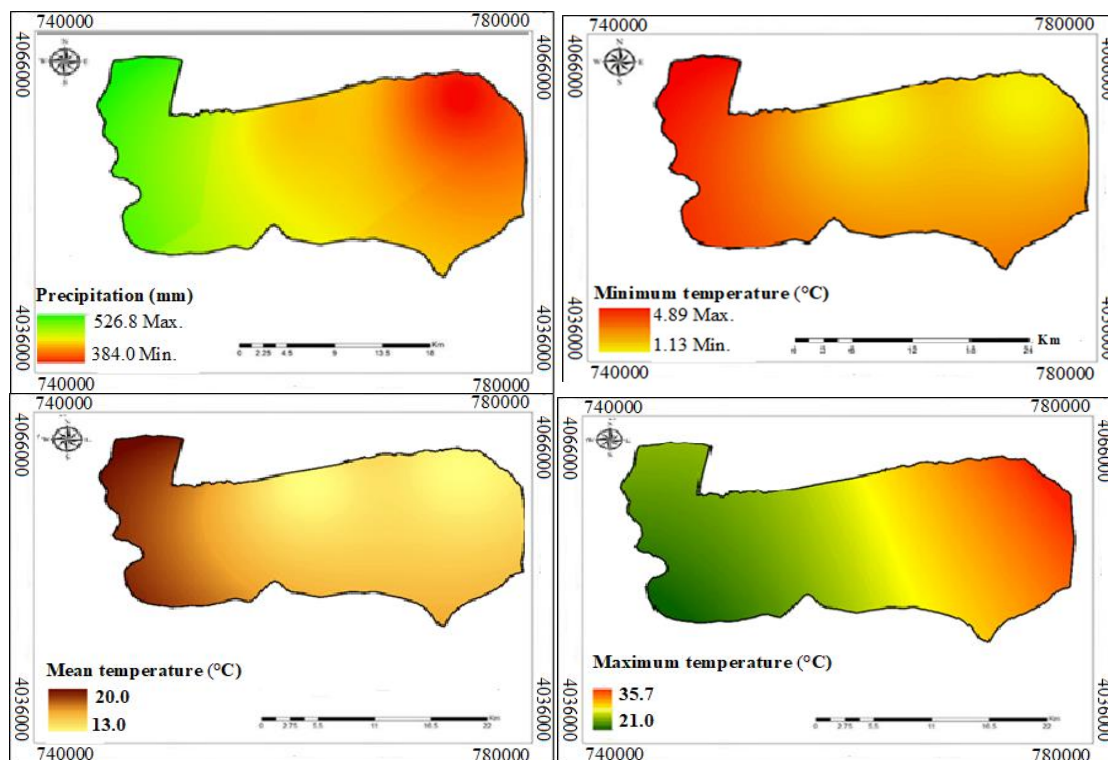
در این مطالعه، مدل SSM-iCrop2 برای برآورد پتانسیل تولید استفاده شد. این شبیه‌ساز، مقدار عملکرد پتانسیل را بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت زراعی و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌نماید. این مدل، توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب و خاک را دارد. مدل، شبیه‌سازی را به‌صورت روزانه انجام می‌دهد. مدل، مراحل سبز شدن، شروع مؤثر پُر شدن دانه‌ها، پایان مؤثر پُر شدن دانه‌ها، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند. جهت استفاده از مدل شبیه‌سازی گیاهی SSM-iCrop2، اطلاعاتی شامل آمار هواشناسی که به‌صورت روزانه و شامل کمینه و بیشینه دمای روزانه، بارندگی روزانه و تشعشع خورشیدی روزانه، اطلاعات محلی یا محیطی شامل عرض جغرافیایی محل، غلظت گاز دی‌اکسید کربن، اطلاعات خاک شامل عمق خاک زراعی و بافت خاک و اطلاعات مدیریت تولید شامل تاریخ کاشت، تعیین نوع کشت آبی یا دیم تهیه و در مدل استفاده شده است. تولید ماده خشک به‌عنوان تابعی از تشعشع دریافت‌شده و دما تخمین زده می‌شود و موازنه آب خاک شامل رواناب، رشد ریشه و افزایش عمق مؤثر استخراج آب، تبخیر از سطح خاک، تعرق و زهکشی شبیه‌سازی می‌شوند (Soltani, 2019). مدل SSM-iCrop2 دارای چندین پارامتر می‌باشد که قبل از اجرای آن برای هر گیاه زراعی نیاز است که مقادیر آن پارامترها برآورد شوند. مقادیر پارامترهای مدل با استفاده از تحقیقات انجام‌شده در گذشته (Keramat et al., 2023) و همچنین با استفاده از واسنجی محاسبه گردید. پس از برآورد پارامترهای مدل، ارزیابی مدل انجام شد. بدین منظور، مدل اجراشده و خروجی آن با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در تحقیقات گذشته و داده‌های جمع‌آوری

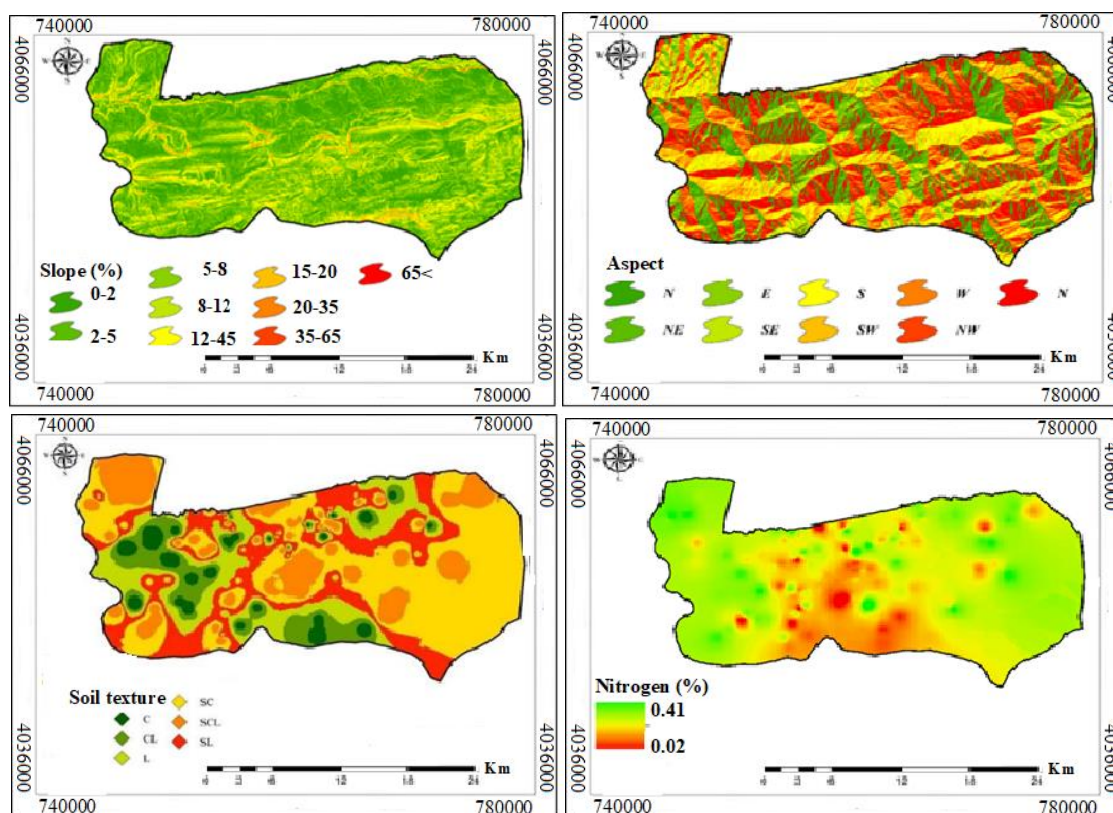
منطقه از نظر شیب، منابع آبی و دیگر عوامل محیطی مورد نیاز، استعدادسنجی اراضی نشان داده شده است. مناسب جهت کشت برنج برآورد گردید. در شکل ۵، نقشه نهایی

جدول ۴- روش برتر برای هم‌پوشانی متغیرهای خاکی در منطقه یانسر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Table 4- Best method for interpolation of soil variables in the Yaneh-sar District of Behshahr County, Mazandaran province

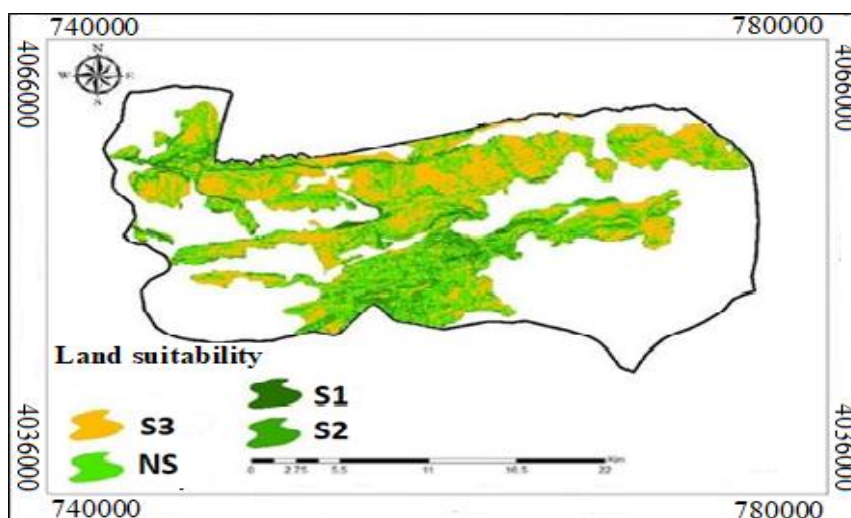
متغیر Variables	روش-مدل Method/modell	RMSE
EC	توان یک-IDW	0.327
	IDW-power 1	
pH	کریجنک-مدل کروی	0.289
	Kriging-spherical	
TNV	کریجنک-مدل نمایی	0.753
	Kriging-exponential	
N	توان یک-IDW	0.083
	IDW-power 1	
OM	کریجنک با مدل گوسی	0.985
	Kriging-Gaussian	
K	کریجنک با مدل گوسی	6.149
	Kriging-Gaussian	
Fe	کریجنک-مدل نمایی	0.934
	Kriging-exponential	
Mn	کریجنک-مدل کروی	0.964
	Kriging-spherical	
Cu	تابع شعاعی - چندربعی معکوس	0.805
	Radial Basis Function-Multiquartic	





شکل ۴- نقشه برخی از عوامل محیطی در منطقه یانسر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 4- Maps of some environmental variables in the yaneh-sar District of Behshahr County, Mazandaran province



شکل ۵- نقشه نهایی استعدادسنجی اراضی جهت کشت برنج در بخش یانه سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 5- Final land suitability map for rice cultivation in Yaneh-sar District, Behshahr County, Mazandaran province

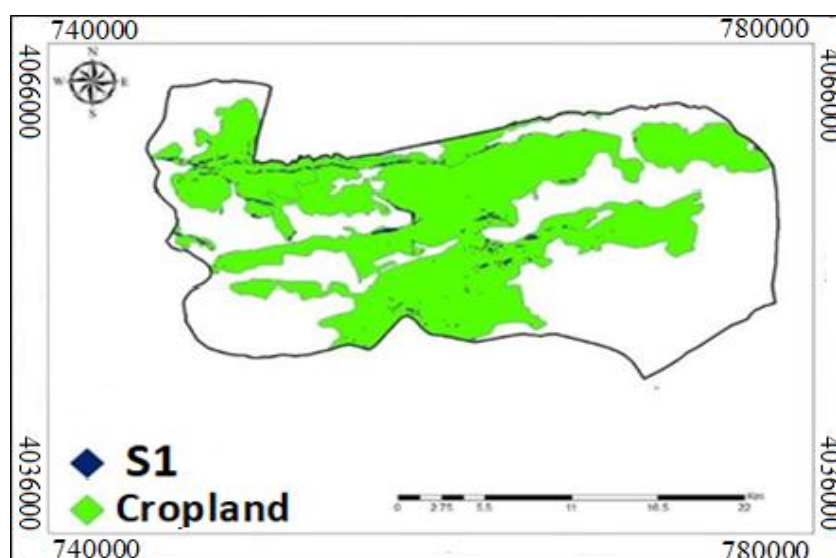
جدول ۵- مساحت پهنه‌های طبقه‌بندی شده جهت کشت برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Table 5- Area and proportion of zoned land classes for rice cultivation in Yaneh-sar District, Behshahr County, Mazandaran province

رتبه‌بندی پهنه‌ها Zone ranking	مساحت Area (ha)	نسبت مساحت پهنه به کل اراضی کشاورزی Proportion of total agricultural land (%)
مناطق بسیار مستعد High suitable areas	637	2.2
مناطق مستعد Moderately suitable areas	4690	16.7
مناطق نیمه‌مستعد Marginally suitable areas	11370	40.5
مناطق غیرمستعد Non- suitable areas	11355	40.4

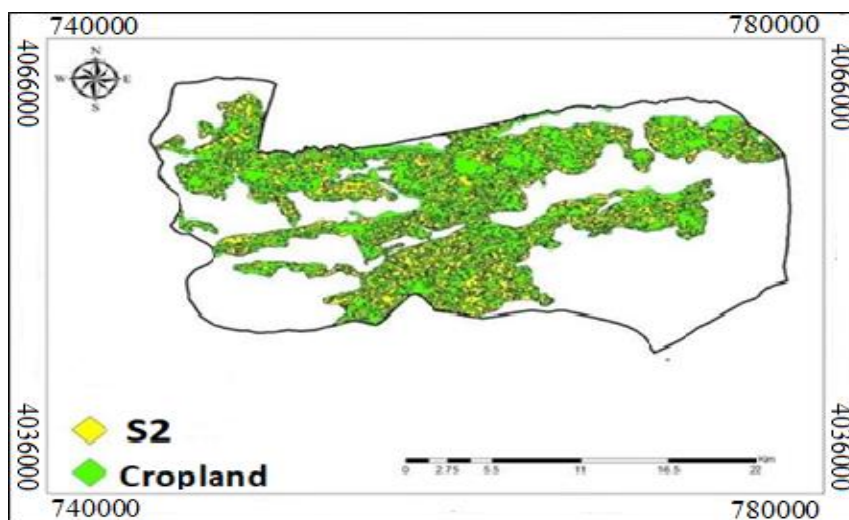
هکتار (۱۶/۷ درصد) را در بر می‌گیرد (شکل ۷). یکی از دلایل پراکندگی نقاط مستعد و حتی بسیار مستعد کشت برنج، نیاز آبی و شرایط شیب زمین بوده که با توجه به کوهپایه بودن منطقه، اکثر مناطق از همواری مناسب جهت کشت برنج برخوردار نبوده و بنابراین مناطق مستعد به صورت نقاط پراکنده و پهنه‌های کوچک در منطقه مشاهده شد.

مناطق بسیار مستعد کشت برنج، سطحی حدود ۶۳۷ هکتار (۲/۲ درصد) را در بر می‌گیرد که تنها به صورت نوار باریکی در طول امتداد شمال منطقه که دارای زمین‌های مسطح و نزدیک به رودخانه نکارود بودند و همچنین به صورت پهنه‌های کوچک در قسمت‌های از مرکز قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۶). مناطق مستعد کشت برنج بیشتر در بخش‌هایی از شمال و جنوب منطقه واقع شده و سطحی حدود ۴۶۹۰



شکل ۶- پهنه بسیار مستعد جهت کشت برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 6- High Suitable (S1) zone for rice cultivation in Yaneh-sar District, Behshahr County, Mazandaran province

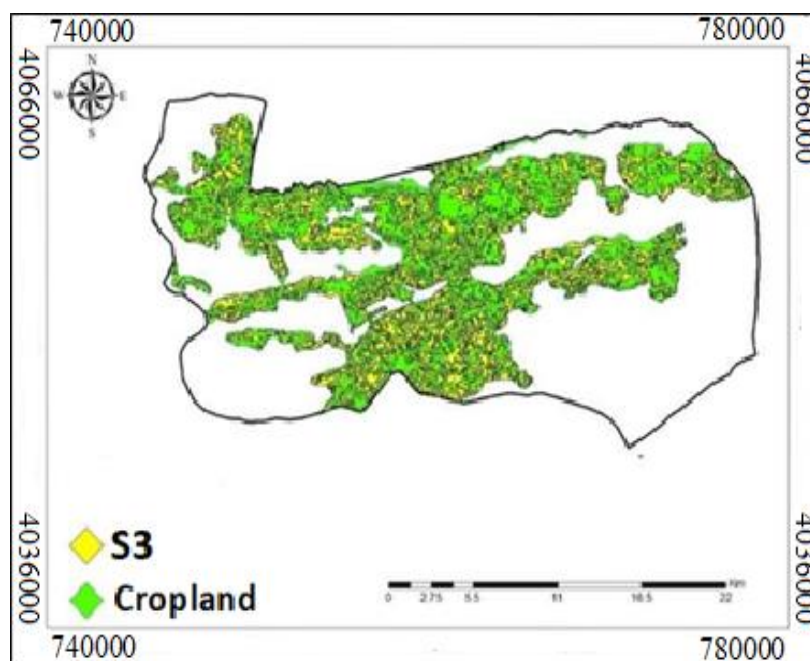


شکل ۷- پهنه مستعد جهت کشت برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 7- Moderately Suitable (S2) zone for rice cultivation in Yaneh-sar District, Behshahr County, Mazandaran province

(Asadi, 2019) اعلام کردند که تغییرات اقلیمی، منابع آب و توپوگرافی نقش مؤثری در تولید محصولات کشاورزی دارند و اشاره کردند که شیب به دلیل عدم نگهداشت مناسب آب، تأثیر منفی در تولید محصولات دارد.

در این مطالعه، مناطق نیمه‌مستعد کشت برنج در تمام سطح منطقه به صورت نقاط مختلف و لکه‌هایی پراکنده مشاهده شد (شکل ۸). با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، تغییرات نسبتاً بالای شیب زمین و کمبود منابع آبی از عوامل تأثیر در این پهنه بودند. رضوان و همکاران (Rezvan et al., 2018) و باقری و اسدی (Baqeri &

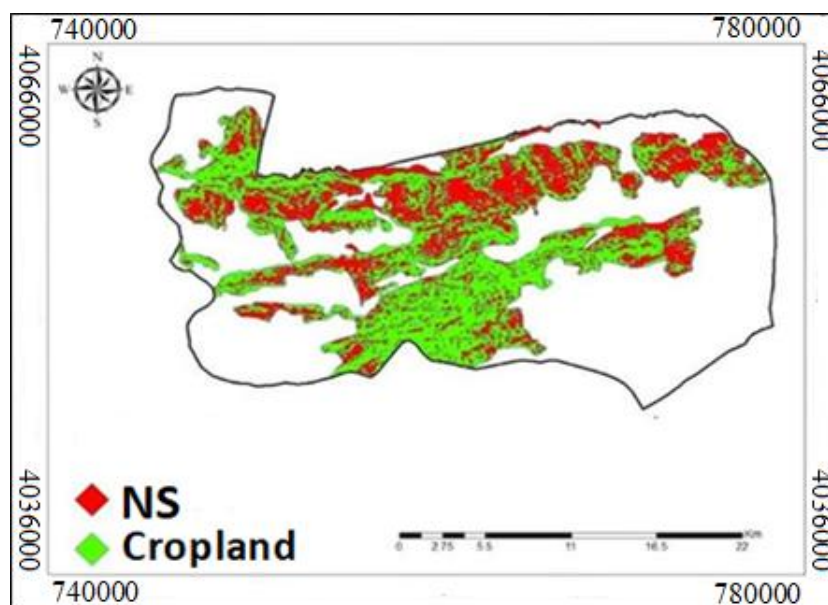


شکل ۸- پهنه نیمه‌مستعد جهت کشت برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 8- Marginally Suitable (S3) zone for rice cultivation in Yaneh-sar District, Behshahr County, Mazandaran province

ناکافی بودن میزان آب در دسترس، مساحت پهنه غیرمستعد بیشتر از سایر پهنه‌هاست. از اصول مهم و اولیه کشاورزی پایدار، متکی بودن کشت گیاهان به توانایی منطقه در جهت تأمین نیازهای بوم‌شناختی آن‌هاست و در گام‌های بعدی است که می‌توان با مدیریت صحیح، استفاده از نهاده‌ها پایداری کشاورزی را حفظ و تداوم بخشید. بنابراین در مناطقی که استعداد تولید یک گیاه وجود ندارد، کشت آن با مصرف حجم زیادی از منابع و نهاده‌های خارج از مزرعه و مدیریت فشرده، باعث آسیب به محیط و از بین رفتن منابع تولید در بلندمدت می‌گردد و سامانه زراعی را ناپایدار می‌سازد.

مناطق غیرمستعد کشت برنج در تمام بخش‌های منطقه از شمال غربی تا شمال شرقی و بخش‌های زیادی از غرب و شرق منطقه گستردگی داشته و سطحی حدود ۱۱۳۵۵ هکتار (۴۰/۴ درصد) را شامل می‌شود (شکل ۹). با توجه به خروجی نقشه‌های اقلیمی و عناصر خاک، مشخص گردید که یکی از علت‌های اصلی وجود بخش غیرمستعد قابلیت کشت برنج، شرایط توپوگرافی از جمله شیب‌های تند در زمین‌های زراعی کنونی منطقه است که باعث می‌شود این مناطق در پهنه غیرمستعد جهت کشت برنج قرار گیرد. با توجه به نوع تهیه زمین و نیاز ضروری به زمین‌های مسطح و آب فراوان جهت آماده‌سازی زمین در زراعت برنج، وجود زمین‌های غیر مسطح و



شکل ۹- پهنه غیرمستعد جهت کشت برنج در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر، استان مازندران

Fig. 9- Non-Suitable (NS) zone for rice cultivation in Yaneh-sar District, Behshahr County, Mazandaran province

سال اخیر در منطقه می‌باشد. از طرفی، به نظر می‌رسد که دلیل پایین بودن خلأ عملکرد در برنج، کشت آبی و تأمین آب و رطوبت مورد نیاز در فصل رشد می‌باشد. کشت برنج در این منطقه به‌صورت غرقاب می‌باشد. در نظام کشت غرقابی برنج، حدود ۶۰ درصد از آب آبیاری جهت کشت اغلب به‌صورت نفوذ عمقی و یا هرز آب از دسترس گیاه خارج می‌شود که با تغییر در الگوی کاشت، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. روش تولید برنج به‌صورت هوزاری می‌تواند باعث کاهش مصرف آب شود. با توجه به کوهپایه‌ای بودن منطقه، اکثر نزولات

براساس نتایج حاصل از خروجی مدل SSM-iCrop2، واحدهای اراضی کشاورزی منطقه در تولید شلتوک برنج دارای پتانسیل تولید حدود ۳/۹۲ تن شلتوک در هکتار می‌باشد و میزان تولید فعلی کشاورزان حدود ۳/۲ تن در هکتار می‌باشد و حدود ۰/۷۲ تن در هکتار خلأ عملکرد تولید شلتوک برآورد شد. در این پژوهی مشاهده شد که میزان پتانسیل تولید شلتوک در منطقه و تولید فعلی کشاورزان دارای اختلاف ناچیزی بوده و خلأ عملکرد کم می‌باشد، این مسئله به‌دلیل ورود تجهیزات مکانیزه جدید مثل نشاکار و کمباین برداشت در چند

بودن جهات شیب مختلف، در بیشتر نقاط منطقه مشاهده شده، به طوری که به طور نسبی برای دو گیاه گندم و جو شامل مناطق شمالی و غربی، برای گیاه عدس در مناطق مرکزی و برای گیاه برنج بیشتر به صورت مناطق پراکنده در شمال و جنوب می باشد. نتایج حاصل از خروجی مدل SSM-iCrop2 جهت تعیین پتانسیل تولید گیاه برنج، پتانسیل تولید ۳/۹۲ تن در هکتار شلتوک برآورد شده و میزان تولید فعلی کشاورزان حدود ۳/۲ تن در هکتار بوده که حدود ۰/۷۲ تن در هکتار خلأ عملکرد در تولید شلتوک برنج به دست آمد. به نظر می رسد که دلیل پایین بودن خلأ عملکرد را می توان به نظام کشت آبی و تامین آب و رطوبت مورد نیاز در فصل رشد ارتباط دانست. به طور کلی، در منطقه مورد مطالعه، بخش های که به منابع آبی کافی دسترسی دارند و تسطیح شده اند، کشت برنج به صورت محدود توصیه می گردد.

جوی به علت شیب منطقه از دسترس خارج می شود. پیشنهاد می گردد که با ایجاد سازه های مختلف نسبت به ذخیره سازی و استفاده بهینه آب در زمان نیاز گیاه زراعی اقدام گردد.

نتیجه گیری

خروجی نقشه های اقلیمی نشان می دهد که میزان بارش، رطوبت نسبی، میانگین دمای حداقل، متوسط و حداکثر، از غرب منطقه به شرق روند کاهشی دارد. از نظر بافت خاک، منطقه دارای بافت های مختلفی شامل رسی، لومی-رسی، رسی، لومی، رسی سیلتی، لومی رسی سیلتی و لومی سیلتی می باشد. نتایج استعدادسنجی اراضی جهت کشت گیاه زراعی برنج نشان داد که پهنه های بسیار مستعد و مستعد، با توجه به کوهپایه ای بودن منطقه، تنوع بافت خاک، ارتفاع مختلف از ۷۶۴ در قسمت های شمال غربی تا ۲۶۹۸ متر در جنوب شرقی و دارا

References

- Ahmadizadeh, S. S. R. (2003). Determination and application of quantitative ecological models in GIS environment - Case study (Qara Tikan-Zavin region). Ph.D. Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Al-Sababha, N. (2024). The impact of climate change on the aridity index in Jordan: Integrating Statistical Models and geographic information systems. *Journal of the Faculty of Arts (JFA)*, 84(1), 1-47. <https://doi.org/10.21608/jarts.2023.209757.1358>
- Ashraf, S. (2011). Estimating the land production potential for wheat using the GIS method. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(8), 118-122.
- Aymen, A. T., Al-Husban, Y., & Farhan, I. (2021). Land suitability evaluation for agricultural use using GIS and remote sensing techniques: The case study of Ma'an Governorate, Jordan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(1), 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.01.001>
- Baqeri, A., & Asadi, S. (2019). Determination of suitable areas for the cultivation of annual snail medic (*Medicago scutellata* L.) using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) in Kermanshah Province. *Agroecology Journal*, 11(2), 467-482. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.67180>
- Dadrasi, A., Vačkářová, D., Salmani, F., Nguyen, C. T., & Weinzettel, J. (2025). Global rice land suitability and adaptation strategies under climate change. *Journal of Environmental Management*, 394, 127630, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127630>.
- Farajzadeh, M., Adab, H., & Amiri, R. (2007). The preparation of a suitability map for colza (*Brassica napus* L.) using statistical analysis and GIS; Case study: Sabzevar Township, Iran. *International Journal of Botany*, 3, 359-365. <https://doi.org/10.3923/ijb.2007.359.365>
- Ghaffari, A., Kook, H., & Valli, H. S. (2002). Determination of suitable areas for wheat cultivation towards sustainable agriculture using GIS (Abstract). Proceedings of the 7th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. p. 527. (In Persian)
- Ghodsipour, S. H. (2012). Analytic Hierarchy Process (AHP). Amirkabir University of Technology Press. Tehran, Iran. 219 p. (In Persian)
- Kamali, G., Sedghianpour, A., Sedaghat Kerdar, A., & Asgari, V. (2008). Investigation of climatic potential for rain-fed wheat cultivation in East Azerbaijan province. *Journal of Water and Soil Science (Science and*

- Technology of Agriculture and Natural Resources*), 22(2), 476-483. (In Persian with English abstract)
11. Kazemi, H. (2013). Agroecological zoning of Golestan province for determination of cropping pattern. PhD. Dissertation, Tarbiat Modars University, Tehran, Iran. (In Persian)
12. Kazemi, H., & Akinci, H. (2018). A land use suitability model for rainfed farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). *Ecological Engineering*, 116, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.021>
13. Kazemi, H., Sadeghi, S., & Akinci, H. (2016). Developing a land evaluation model for faba bean cultivation using geographic information system and multi-criteria analysis (A case study: Gonbad-Kavous region, Iran). *Ecological Indicators*, 63, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.021>
14. Keramat, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2023). Parameterization and evaluation of SSM iCrop2 model to simulate the growth and yield of rice in Iran. *Plant Production Research*, 30(1), 21-47. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19090.2822>
15. Kılıc, O. M., Ersayın, K., Gunal, H., Khalofah, A., & Alsubeic, M. S. (2022). Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (*Triticum aestivum*) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2634-2644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.050>
16. Makhdoom, M. (1992). Environmental assessment and planning with geographic information systems. Tehran University Press, Tehran, Iran. 309 pages. (In Persian)
17. Mashayekhi, K., Asadi, Z., Movahedi Naeini, S.A.R., & Hajrasuliha, S. (2007). Salinity regionalization with geostatistic method in a wet soil in southern Lenjan, Isfahan (Iran). *Indian Journal of Agricultural Research*, 41, 1-9.
18. Mohammadi, H., Kazemi, M., & Goodarzi, N. (2007). Application of GIS in the feasibility study of olive cultivation in Isfahan province. *Pajouhesh & Sazandegi*, 74, 123-133. (In Persian with English abstract)
19. Mosavati, S. A., & Seiedjalali, S. A. (2002). Determination of land suitability and wheat production potential in saline lands of Golestan province (Technical Publication No. 1136). *Soil and Water Research Institute*. (In Persian).
20. Panah Nezhad, V., Ahmadi Sani, N., & Javanmard, A. (2022). Spatial multi-criteria analysis of ecological land suitability for irrigated farming. *Journal of Agroecology*, 14(2), 219-233. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/agry.2021.20290.0>
21. Peato, G. (2007). Evaluating land use plans under uncertainty. *Land Use Policy*, 24(1), 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.02.003>
22. Rezvan, S., Kazemi, H., & Ghadirifar, F. (2018). Temporal and spatial feasibility of hull-less barley cropping in agricultural lands of Gorgan Township. *Cereal Research Journal*, 8(1), 127-138. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/C.2018.3133>
23. Riahi, A. A. (2000). Geographical Landscape of Hezarjrib-e Behshahr. Ayandegan Publications. Tehran, Iran. 300 p. (In Persian)
24. Soltani, A. (2019). Modeling the growth and production of large-scale vegetation with SSM-icrop2: crops, vegetables, orchards, and pastures. Research project report, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
25. Sys, I., Van-Ranst, E., & Debyeve, J. (1991). Land evaluation, Part 1: Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculation. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publications, 7, Brussels, Belgium.
26. Tajvidi, G. (2002). An Introduction to Geographic Information Systems (Adapted from Ian Heywood). National Cartographic Center Publications. (In Persian)
27. Yousif, I. (2024). Optimizing agricultural land evaluation of some areas in the New Delta region, Al-Dabaa Corridor, Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(1), 193-206. <https://doi.org/10.21608/ejss.2023.239906.1669> .