Physical Geography Research Quarterly

Online ISSN: 2423-7760

Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

Institute of Geography

Application of Agroclimatic Indices for Assessing the Climatic Potential of Rice Cultivation in Different Climates of Iran: A case study of Mazandaran and Khuzestan provinces

Roghayeh Alipour [1], Saeed Bazgeer [2] ✉, Masoumeh Moghbel [3]

1. *Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
Email: roghayealipour21@gmail.com
2. (Corresponding Author) *Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
Email: sbazgeer@ut.ac.ir
3. *Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
Email: moghbel@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:
Received:
11 June 2026
Revised:
29 August 2026
Accepted:
8 October 2026
Available online:
28 October 2026

Keywords:
Rice,
Crop Calendar,
Khuzestan,
Mazandaran,
Agroclimatic Indices.

ABSTRACT

Mazandaran and Khuzestan provinces play pivotal roles in Iran's rice production, ranking first and third nationally. In this research, the agricultural and climate data in Khuzestan during 2000-2020 and Mazandaran during 1999-2020 were used for assessing rice cultivation potential. Climatological indices, including GDD, SAT, BEDD, were calculated using the mean daily temperature, and ranges of agro-climatological indices were classified based on the minimum and maximum yield. Using Pearson's correlation coefficient, the relationship between climatological indices and rice yield was evaluated. The results revealed that Amol and Qarakhil in Mazandaran province which recorded the highest yields (5035 and 5130 kg/ha, respectively) during the study period with the range of GDD=1566, GDD=1561, SAT=2586, SAT=2772, BEDD=915, and BEDD=1033 has the greatest cultivation had the greatest potential for rice cultivation compared with other areas of the province. These areas were characterized by GDD values of 1566 and 1561, SAT values of 2586 and 2772, and BEDD values of 915 and 1033, respectively. However, the western parts of Mazandaran province included areas with relatively low cultivation suitability. In addition, the results of this study showed that the central parts of Khuzestan province, including Ahvaz and Shushtar, with yields of 4161 and 4252 kg/ha, respectively, exhibited high climatic suitability for rice cultivation, with GDD values ranging from 2903 to 2965, SAT values ranging from 3953 to 4015, and a constant BEDD value of 945. The eastern parts of the province also have relatively favorable climatic conditions for rice cultivation. The results of this study showed that the simultaneous use of SAT, and BEDD along with GDD is useful for evaluating the thermal requirements of rice at different growth stages and identifying areas with suitable climatic conditions for rice cultivation.

Cite this article: Alipour, R., & Bazgeer, S., & Moghbel, M. (2026). Application of Agroclimatic Indices for Assessing the Climatic Potential of Rice Cultivation in Different Climates of Iran: A case study of Mazandaran and Khuzestan provinces. *Physical Geography Research Quarterly*, 58 (3), 81-100.
http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.406961.1007924

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Rice cultivation have long held a prominent position in the Iranian diet due to the nutritional importance and widespread consumption of this staple food. The average annual per capita rice consumption in Iran is estimated at approximately 30 kg. Mazandaran and Khuzestan have a major share in the country's rice supply and are ranked first and third in terms of production. In 1978, in order to optimize the use of land, water and other resources, the World Food Organization presented a model under the title of ecological-agricultural zoning, and after numerous researches and tests in 1983, it was recommended for all countries. In this research, rice cultivation potential has been evaluated based on climatic profiles in two poles of rice production in the country (Mazandaran and Khuzestan provinces).

Methodology

The study area comprises two provinces, Mazandaran and Khuzestan. Mazandaran Province is located in northern Iran, with Sari as its capital, extending along the southern coastal strip of the Caspian Sea. Mazandaran province is divided into three main geographical zones: mountainous, foothill, and plain areas. During the study period (1988–2010), the mean annual precipitation in Mazandaran is 682 mm, while the lowest mean precipitation is 195 mm, which occurred in the eastern and high-altitude areas of the province. In contrast, the highest mean precipitation, approximately 1465 mm, was recorded in the western part of the province. The mean annual air temperature is approximately 17°C. Khuzestan province, with Ahvaz as its capital, is located in southwestern Iran. The province covers an area of approximately 64236 km^2. In terms of topography, the province is divided into three main regions: plains, foothills, and mountainous areas. The mean annual precipitation of the province during the statistical period (1370–1396) is 284 mm. The mean annual air temperature is 25.3°C. The mean minimum and maximum air temperatures are 18.2°C and 32.4°C, respectively. The mean absolute maximum and minimum air temperatures are 53.7°C and −8.4°C, respectively. Agroclimatic indices were calculated using daily temperature data for the two provinces of Mazandaran and Khuzestan. These two provinces were selected because of their different climatic conditions. To calculate Growing Degree Days (GDD), Sum of Active Temperatures (SAT), and Biologically Effective Degree Days (BEDD), daily minimum and maximum air temperature data were used for Mazandaran province during 1379–1399 and Khuzestan province during 1378–1399. The growth stages from transplanting to harvest in the two provinces include transplanting, tillering, stem elongation, heading and flowering, milk and dough development, and physiological maturity**.** Tarom is the predominant rice cultivar in Mazandaran province and Anbarbo is the predominant cultivar in Khuzestan Province. Using the Weibull empirical formula and considering a reference date for the first day of transplanting, the Julian day was calculated. For Mazandaran province, the first day of transplanting was considered 1 Ordibehesht (April 21) in Amol and 15 Farvardin (April 4) in Qarakheil.

Result and discussion

The results obtained from the maps and correlations showed that in Khuzestan province, the two indices of growing degree days and total active temperatures play the greatest role in plant performance, while the BEDD index had no relationship with the changes in yield values. In Mazandaran province, no significant relationship was observed between the changes in the degree of growth days and total active temperatures, but in Nowshahr station, a significant relationship was observed at the level of 0.05% with yield. In Izeh station of Khuzestan province, Kiasar and Siah Bisheh of Mazandaran province, the height above the sea level has caused a decrease in temperature in these stations, and therefore in Izeh station it has caused a decrease in yield and in Kiasar and Siah Bisheh, it has caused arable lands to be cultivated due to lack of proper yield. Ranges and classes determined in this research for different rice cultivation areas in two provinces are different according to different climatic conditions. According to the obtained results, better results can be achieved in cultivation by shifting the cultivation date

and providing other conditions and factors, including the selection of resistant and compatible cultivars in each environment. According to the selected data, the results of this study are consistent with those reported by Jin et al. (2005), Ali et al. (2009), Sultana et al. (2019), Boonwichai et al. (2019), Abhilash (2017), and Kaur and Dhaliwal (2014).

Conclusion

The results of this research showed that environmental factors play a significant role in determining cultivation areas and sometimes these factors act as limiting cultivation conditions or as facilitators in cultivation areas. Considering the high potential of rice cultivation in the central and semi-eastern parts of Mazandaran and Khuzestan provinces, the central parts of Khuzestan province should focus on these areas and increase the cultivated area in them. In Mazandaran province, the two stations of Siah Bisheh and Kiasar encountered negative temperatures at the beginning of the rice planting period, and therefore the plant suffers from cold stress. In the selection of rice varieties, it is expected that by allocating the cultivated area to the lands that can be cultivated in these two stations, it will be possible to cultivate rice to be a turning point for the income of the farmers in these areas.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We sincerely thank the reviewers for their valuable comments and suggestions, which greatly improved the manuscript.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی
شاپا الکترونیکی: 2423-7760
Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

کاربرد نمایه‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی در ارزیابی توان اقلیمی کشت برنج در اقلیم‌های متفاوت ایران، مطالعه موردی: استان‌های مازندران و خوزستان

رقیه علی پور [۱]، سعید بازگیر [۲]، معصومه مقبل [۳]

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: roghayealipour21@gmail.com
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: sbazgeer@ut.ac.ir
۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: moghbel@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۵/۰۳/۲۱
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۵/۰۶/۰۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۷/۱۶
تاریخ چاپ:
۱۴۰۵/۰۸/۰۶

واژگان کلیدی:
برنج،
تقویم زراعی،
خوزستان،
مازندران،
نمایه‌های اقلیمی زراعی.

چکیده

مازندران و خوزستان سهم عمده ای در تامین برنج کشور داشته و از نظر تولید در رتبه های اول و سوم قرار دارند. در این تحقیق از داده های کشاورزی و اقلیمی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ در مازندران و ۱۳۹۹-۱۳۷۸ در خوزستان استفاده شد. نمایه‌های اقلیمی درجه-روزهای رشد (GDD)، دماهای فعال تجمعی (SAT) و درجه روزهای مؤثر بیولوژیکی (BEDD) به کمک دمای روزانه محاسبه و دامنه نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی در مناطق با توان کشت در کمینه و بیشینه عملکرد طبقه بندی شد. به کمک ضریب همبستگی پیرسون، رابطه بین نمایه‌های اقلیمی و عملکرد برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که آمل و قراخیل در استان مازندران با بیشترین عملکرد (به ترتیب ۵۰۳۵ و ۵۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) با دامنه GDD ۱۵۶۱ تا ۱۵۶۶، SAT با ۲۵۸۶ تا ۲۷۷۲ و BEDD با دامنه ۹۱۵ تا ۱۰۳۳ بیشترین توان کشت را در استان مازندران داشته‌اند. اگرچه در قسمت‌های غربی با نواحی به نسبت ضعیف مواجه می‌شویم. نتایج این مطالعه نشان داد که در مناطق مرکزی استان خوزستان مانند اهواز و شوشتر به ترتیب با عملکرد ۴۱۶۱ و ۴۲۵۲ کیلوگرم در هکتار با دامنه GDD ۲۹۰۳ تا ۲۹۶۵، SAT ۳۹۵۳ تا ۴۰۱۵ و BEDD با مقدار ثابت ۹۴۵ از توان اقلیمی بالایی برای کشت برنج برخوردار هستند. نواحی شرقی این استان نیز در وضعیت مناسبی برای کشت برنج قرار دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده همزمان از SAT و BEDD در کنار GDD می‌تواند به ارزیابی نیاز حرارتی مراحل نمو برنج و مقایسه و شناسایی مناطق مساعد کشت این محصول کمک کند.

استناد: علی پور، رقیه؛ بازگیر، سعید و مقبل، معصومه. (۱۴۰۵). کاربرد نمایه‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی در ارزیابی توان اقلیمی کشت برنج در اقلیم‌های متفاوت ایران، مطالعه موردی: استان‌های مازندران و خوزستان. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۸ (۳)، ۱۰۰-۸۱.
http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.406961.1007924

© نویسندگان
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

مقدمه

برنج با نام علمی (Oryza sativa L.) به‌عنوان یکی از غذاهای اصلی بشر از اهمیت زیادی برخوردار است و ۴۰ درصد از کالری مصرف روزانه مردم جهان به خصوص در آسیا از طریق مصرف آن تامین می شود (Kenmore, 1996). برنج به عنوان غذای اصلی حدود نیمی از مردم جهان و اغلب کشورهای درحال توسعه حدود ۱۴۶/۵ میلیون هکتار از مزارع کشاورزی جهان را به خود اختصاص داده است (Khush, 2005). گیاه برنج حداقل در ۹۵ کشور جهان تولید می شود (IRRI, 2002). گزارش‌ها حاکی ازاین مطلب است که تولید برنج در سال ۲۰۷۵، ۴ درصد نسبت به سال پایه ۱۹۹۰، با کاهش روبرو خواهد شد (Cox & Tzoc, 2023). بر اساس برآوردهای فائو، تولید جهانی برنج به ۵۰۰ میلیون تن رسیده است، در حالیکه مصرف جهانی آن ۱/۱ درصد در مقایسه با سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است (Bernaola et al., 2018). با توجه به افزایش جمعیت و ریشه‌کنی فقر جهان به عنوان یک هدف مهم به منظور تأمین غذا برای جمعیت رو به رشد نیاز به دسترسی وسیع به برنج دارد (Khush, 2005; Roy & Chan, 2015). در سال ۲۰۱۰ ایران حدود ۲/۳ میلیون تن برنج از مزارع برنج با میانگین تولید ۴ تن در هکتار تولید کرد (IRRI, 2002). این محصول در ایران عمدتاً در مازندران، گیلان، خوزستان، اصفهان کشت می‌شود. به طور متوسط ایرانی‌ها سالانه حدود ۳۰ کیلوگرم برنج مصرف می‌کنند و بیشتر مصرف کنندگان، برنجی را ترجیح می‌دهند که مرغوب و معطر باشد. بیش از ۸۰ درصد از مناطق برداشت شده برنج در مناطق ساحلی مازندران و گیلان در اطراف دریای خزر که آب و هوای نیمه گرمسیری مرطوب دارد، یافت می‌شود. در ایران ۷۵ درصد پروتئین و ۸۰ درصد کالری از این منبع غذایی تأمین می شود (Eskandari & Attar, 2015; Mohammadpour, 2016). پس از گندم، برنج دومین محصول کشاورزی پرمصرف در ایران می‌باشد که مصرف آن پس از دهه ۵۰ افزایش چشمگیری یافته است (پرمه و گیلانپور، ۱۳۸۸؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سبزعلیان و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین برای تامین تقاضای رو به رشد برنج، افزایش ۷۰ تا ۷۵ درصدی در تولید کل کشور امری ضروری است (لیموچی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به افزایش جمعیت و به تبع افزایش مصرف برنج سبب گردیده تا تولید داخلی پاسخگوی نیاز داخلی نباشد (صیادی و همکاران، ۱۳۹۷). به دلیل هزینه های بالای تولید و عدم مزیت نسبی تولید آن در داخل، ایران یکی از واردکنندگان عمده این محصول به حساب آید و حدود نیمی از مصرف داخلی از طریق واردات تأمین شود. تولید این محصول نیز همانند سایر محصولات کشاورزی از متغیرهای مختلف هواشناسی مانند بارندگی و دما تاثیر می‌پذیرد (Ji et al., 2007). دما و تابش نور از عوامل کلیدی و موثر بر تولید محصولات زراعی می‌باشند (Sultana et al., 2019). درصد تولید محصولات کشاورزی، همبستگی بالایی با نزولات جوی و مساعد بودن شرایط آب و هوایی دارد (شاهبایی کوتنایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ رمضانی پور، ۱۳۹۷).

با توجه به در نظر گرفتن همه ابعاد اقتصادی و غذایی برنج در سطح ملی و بین‌المللی و به خصوص تاثیر آن بر زندگی و معیشت خانوار روستایی به حداقل رساندن محدودیت های محیطی و اقلیمی در جهت افزایش بهره وری ضروری می‌نماید. برای تحقق یافتن این امر شرح و توصیف مراحل زمانی خاص مناسب جهت تولید حداکثر در یک مکان مشخص و دانستن نیاز ها و محدودیت‌های اقلیمی مراحل مختلف نمو برنج ضروری است (خوشحال دستجردی و مصطفوی دارانی، ۱۳۹۲). در خصوص اهمیت تاثیر نمایه‌های اقلیمی‌کشاورزی بر رشد محصولات کشاورزی مطالعات گسترده ای تا کنون در سطح جهان و ایران انجام شده است که در ادامه به نتایج برخی از آنها می‌توان اشاره نمود (Moral et al., 2016). در مطالعه‌ای چهار شاخص اقلیمی GST[1]،GDD[2]، HI[1] و BEDD[2] در ۲۱ منطقه انگورکاری

1Growing Season Temperature
2Growing Degree- Days

نیوزیلند با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده‌ی با وضوح بالا طی دوره ۲۰۰۰–۱۹۷۱ مورد بررسی قرار داده شد (Anderson et al., 2012). نتایج نشان داد که این کشور عمدتاً دارای اقلیم خنک تا معتدل گرم است میانگین GST حدود ۱۵/۹ درجه سلسیوس و میانگین GDD حدود ۱۲۵۲ درجه سلسیوس است تنوع درون‌منطقه‌ای قابل‌توجهی مشاهده می‌شود. مناطقی مانند اوتاگو و ساوت‌کانتربری برای انگورکاری پایدار بسیار سرد ارزیابی شدند) با مقادیر BEDDحدود ۷۰۰ درجه سلسیوس، در حالی که مناطقی نظیر کایتایا و بی آو آیلندز با (BEDD=۱۵۲۲) شرایط گرم‌تر و مناسب‌تری داشتند. این مطالعه نتیجه‌گیری می‌کند که GST شاخصی ساده‌تر و کارآمدتر از GDD است، در حالی که BEDD هرچند دیدگاه ارزشمندی از کارایی زیستی دما ارائه می‌دهد، در مناطق گرم‌تر جزیره شمالی نسبت به مناطق سردتر جزیره جنوبی کاربرد بهتری دارد (Anderson et al., 2012). نتایج تحقیقی در خصوص روند تغییر عملکرد برنج در رابطه با نمایه‌های اقلیمی نشان داد که با افزایش مقادیر هرکدام از این نمایه‌ها عملکرد نیز افزایش پیدا می‌کند (Sultana et al., 2019). در مطالعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی چاتا در کشمیر به منظور بررسی تاثیر هرکدام از نمایه‌های اقلیمی کشاورزی از جمله GDD و HTU[3] بر عملکرد ارقام مختلف برنج به این نتیجه دست یافتند که شروع مرحله خوشه دهی با کمینه دما، بارندگی، رطوبت نسبی صبح و عصر همبستگی مثبت و معناداری داشته، در حالی که مرحله گلدهی با بارش، کمینه دما و همچنین رطوبت نسبی عصر همبستگی مثبت و معنادار دارد (Singh et al., 2020). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که اثرات GDD و بارش باید در کنار یکدیگر ارزیابی گردد و این دو پارامتر زمانی که به مقدار بهینه برسند، می توانند بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد محصول داشته باشند (Yan et al., 2022). طبق بررسی‌های به عمل آمده مطالعات گسترده و منسجمی در زمینه توان‌سنجی اقلیمی‌کشاورزی محصولات کشاورزی و به خصوص برنج صورت نگرفته است. از این رو در این تحقیق هدف اصلی با توجه به اهمیت برنج، شناسایی توان اقلیمی این محصول با استفاده از نمایه‌های اقلیمی‌کشاورزی در استان‌های خوزستان و مازندران با تاکید بر درجه‌روزهای رشد (GDD)، مجموع دماهای فعال (SAT[4]) و درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی (BEDD) می‌باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی مقادیر شاخص‌های اقلیمی–کشاورزی در مراحل حساس رشد، به شناسایی مناطق مستعد برای کشت برنج می‌پردازد. در دهه‌های اخیر، به‌ویژه در کشورهای پیشرفته، این موضوع مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است و توان‌سنجی اقلیمی به‌عنوان ابزاری کارآمد در بهینه‌سازی مکانیابی کشت و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی به کار گرفته شده است. شاخص‌های اقلیمی–کشاورزی نیز یکی از روش‌های مؤثر در بهبود تولید و عملکرد محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند که از طریق تعیین مناطق بهینه برای کشت، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر هر یک از عوامل اقلیمی در دو اقلیم عمده کشت برنج در ایران است تا شدت اثرگذاری متغیرهای اقلیمی و تغییرات مرتبط با آن‌ها درنمایه‌های اقلیمی–کشاورزی بر فرآیند رشد و عملکرد محصول تحلیل شود.

روش پژوهش

در این تحقیق نمایه‌های اقلیمی‌کشاورزی با استفاده از داده‌های دمای روزانه در دو استان مازندران و خوزستان محاسبه شده است (جداول شماره ۱ و ۲). علت انتخاب این دو استان وجود تفاوت های کاملا بارز اقلیمی و در نتیجه نشان دادن بهتر تفاوت‌های مقادیر نمایه‌های اقلیمی مناطق کشت برنج در دو استان می‌باشد. به منظور محاسبه درجه روزهای رشد

1 Huglin Index
2 Biologically Effective Degree-Days
3 Heliothermal units
4 Sum of active temperature

(GDD)، مجموع دماهای فعال فصل رشد (SAT)، درجه روزهای بیولوژیکی موثر رشد (BEDD)، داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه در استان مازندران (۱۳۷۹–۹۹) و در استان خوزستان (۹۹–۱۳۷۸) مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱. ایستگاه های هواشناسی همدیدی استان مازندران به همراه فراداده آن‌ها (۹۹–۱۳۷۹)

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)
رامسر	۲۱	۶۰° ۳۶′	۵۰° ۶۰′
آمل	۷۶	۳۶° ۴۷′	۵۲° ۳۴′
قائمشهر	۵۲	۳۶° ۴۶′	۵۲° ۴۳′
نوشهر	-۲۰	۳۶° ۶۰′	۵۱° ۴۸′
ساری	۵۴	۳۶° ۵۶′	۵۳° ۰۵′
بابلسر	۲۰	۳۶° ۴۳′	۵۲° ۳۹′
کیاسر	۱۳۷۸	۳۶° ۲۳′	۵۳° ۵۴′
سیاه بیشه	۲۱۶۰	۳۶° ۲۱′	۵۱° ۳۱′

جدول ۲. ایستگاه های هواشناسی همدید استان خوزستان به همراه فراداده آن‌ها (۱۳۷۸–۹۹)

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)
اهواز	۱۶	۳۱° ۲۰′	۴۸° ۴۰′
شوشتر	۶۵	۳۲° ۰۴′	۴۸° ۶۰′
رامهرمز	۱۶۰	۳۱° ۲۷′	۴۹° ۶۰′
بهبهان	۳۱۷	۳۰° ۵۰′	۴۵° ۳۵′
ایذه	۸۴۲	۳۱° ۱۳′	۵۰° ۲۲′
مسجد سلیمان	۳۷۲	۳۱° ۹۳′	۴۸° ۲۴′
آبادان	۳	۳۰° ۲۰′	۴۸° ۱۷′
بستان	۵	۴۸° ۰۱′	۳۲° ۳۳′
دزفول	۱۵۰	۳۲° ۳۸′	۴۸° ۳۹′

هر سه نمایه با در نظر گرفتن دمای پایه ۱۰ درجه سلسیوس برای مراحل نمو از نشا تا برداشت محاسبه گردید. معمولا بصورت سنتی در کاشت ارقام برنج، دمای ۱۰ درجه سلسیوس بعنوان دمای پایه در محاسبات در نظر گرفته می‌شود (Liu et al., 2022; Liu & Liu, 2023). مراحل نمو از نشا تا برداشت در دو استان شامل نشا، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، خوشه‌دهی و گل دادن، شیری شدن، مومی شدن و رسیدن فیزیولوژیکی (بلوغ فیزیولوژیکی) می‌شود. با توجه به اینکه در مازندران عمده تولید برنج رقم طارم و در خوزستان عنبربو می‌باشد، تاریخ‌های شروع و خاتمه مراحل نمو این ارقام از وزارت جهاد کشاورزی اخذ و سپس با استفاده از رابطه تجربی ویبول با در نظر گرفتن یک تاریخ مبنا برای اولین روز نشا و محاسبه روز ژولیسی در مازندران، در آمل روز اول اردیبهشت و در قراخیل روز پانزدهم فروردین در نظر گرفته شد. یافته های پژوهش جهت توزیع و فراوانی سرعت باد در ماه‌ها و فصل‌ها با استفاده از روش ویبول دقت خوبی را در مناطق مختلف نشان داده است (Jain & Jain, 2024). با توجه به این که در مازندران، آمل دورتر از مناطق ساحلی خزر واقع شده و تفاوت هایی از لحاظ اقلیمی مانند دما نسبت به سایر ایستگاه های این استان دارد، بنابراین برای محاسبه شاخص‌ها این استان به دو بخش تقسیم و آمل به عنوان ایستگاه مستقل و قراخیل به عنوان نماینده سایر ایستگاه ها (به علت تشابه اقلیمی با سایر ایستگاه‌ها) از نظر تقویم زراعی درمحاسبات درنظر گرفته شدند. میانگین بلندمدت دمای روزانه در آمل ۱۸ درجه سلسیوس بوده و برنج در این منطقه به دلیل دمای بالاتر دیرتر کشت شده و زودتر برداشت می‌شود. دمای هوا در سایر ایستگاه‌های منتخب در این تحقیق ۲ تا ۳ درجه سلسیوس پایین‌تر از دمای آمل می‌باشند و بنابراین

نشا آنها زودتر آغاز شده ولی دیرتر از آمل برداشت می‌شود (آمارنامه سال ۹۸-۱۳۷۱). در استان خوزستان نیز ایستگاه ایذه به علت تفاوت دمایی باتوجه به پربارش بودن منطقه مستقل از سایر ایستگاه‌ها در محاسبات تقویم زراعی کشت گنجانده شد. تاریخ مبنا برای اولین روز نشا در ایذه ۱۰ خرداد و در سایر ایستگاه‌ها ۱۵ خرداد مبنا قرار گرفت. قابل ذکر است که در محاسبه درجه روزهای رشد در مازندران برای دماهای بیشینه بیش از ۳۵ درجه سلسیوس و در خوزستان برای دماهای بیشینه بیش از ۴۰ درجه سلسیوس، دمای بیشینه به ۳۵ درجه (برای مازندران) و ۴۰ درجه (برای خوزستان) پایین آورده شده (تعدیل دماهای بیشینه) و سپس مقدار نمایه محاسبه شده است. در انتهای کار با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی بین عملکرد برنج با نمایه‌های اقلیمی‌کشاورزی محاسبه شد. آزمون‌های من-کندال و شیب سن برای بررسی روند نمایه‌های مورد مطالعه با کد نویسی در نرم‌افزار پایتون مورد استفاده قرار گرفت. در جدول شماره ۳ روابط مورد استفاده در این مطالعه آمده است. به منظور رعایت ایجاز ، نحوه محاسبه و اجزای روابط مذکور در منابع مرتبط آمده که خوانندگان محترم می‌توانند به آنها مراجعه نمایند (پژاوه و همکاران، ۱۴۰۲). روند انجام این پژوهش در طرح‌واره شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول۳. روابط آماری مورد استفاده در این مطالعه

عنوان	رابطه
رابطه تجربی ویبول	$P = m/(n+1)$
مجموع درجه روزهای رشد	$GDD = \sum(Tavg - 10)$
مجموع دماهای فعال رشد	$SAT=\sum T_d \ \ FOR \ \ T_d \geq 10$
مجموع درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی	$Daily\ BEDD = \sum T_{av} - 10$
ضریب همبستگی پیرسون	$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \Sigma (y_i - \bar{y})^2}}$

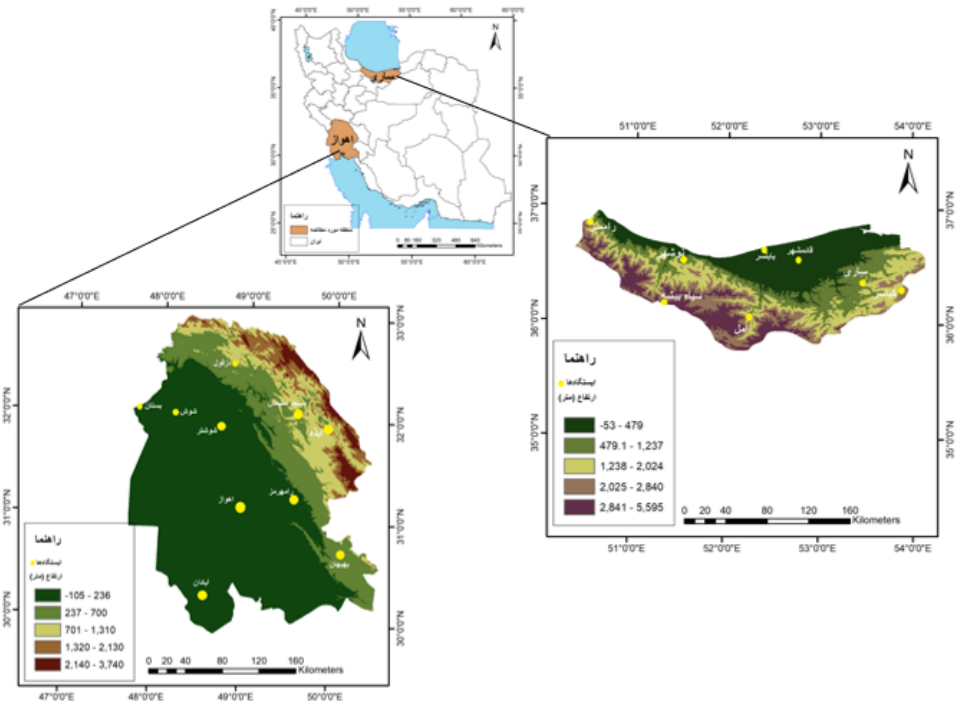


شکل ۱. طرح‌واره روش پژوهش

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق شامل دو استان مازندران و خوزستان می‌باشد. استان مازندران در شمال کشور ایران به مرکزیت شهر ساری در طول نوارساحلی دریای مازندران قرارگرفته است. این استان با مساحتی حدود ۲۳۷۵۶ کیلومترمربع (۱/۴۶ درصد مساحت کل کشور)، بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی قرار دارد. استان مازندران به سه بخش کوهستانی، کوهپایه‌ای و جلگه ای تقسیم می‌شود. میانگین بارش سالانه‌ی مازندران طی دوره‌ی مورد مطالعه (۱۹۸۸ تا۲۰۱۰)، ۶۸۱/۵ میلی‌متر بوده و میانگین کمترین بارش ۱۹۴/۷ میلی‌متر است که منطبق با ارتفاعات و در شرق استان قرار گرفته و این در حالی است که میانگین بیشترین بارش ۱۴۶۵/۱میلی‌متر برای غرب استان می باشد (پورزیدی و همکاران، ۱۳۹۷). میانگین رطوبت نسبی این استان سالیانه بیشتر از ۸۰ درصد (روشنعلی و ذاکری، ۱۳۹۳) و دمای میانگین ۱۷ درجه سلسیوس در طول سال می‌باشد (کوتنایی و همکاران، ۱۳۹۷).

استان خوزستان به مرکزیت شهر اهواز در جنوب غربی کشور ایران قرار واقع شده است. این استان با مساحتی حدود ۶۴۲۳۶ کیلومترمربع (۴ درصد مساحت کل کشور)، بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه شمالی قرار دارد. این استان از نظر توپوگرافی به بخش‌های جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی تقسیم بندی می‌شود. میانگین بارندگی سالانه استان طی دوره آماری بلندمدت (۱۳۹۶ تا ۱۳۷۰)، ۲۸۴/۳ میلی‌متر، و میانگین بلند مدت رطوبت نسبی این استان ۴۲/۳ درصد، میانگین دمای سالانه ۲۵/۳، میانگین کمینه دمای ۱۸/۲، میانگین بیشینه دمای ۳۲/۴ و میانگین بیشینه مطلق ۵۳/۷، میانگین کمینه مطلق ۸/۴- درجه سلسیوس می باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹). شکل شماره ۲ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و توپوگرافی دو استان را نشان می‌دهد.



شکل۲. موقعیت جغرافیایی، سطوح ارتفاعی و ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

یافته‌ها

تقویم زراعی در مازندران برای رقم طارم و در خوزستان برای عنبربو (ارقام پرکاربرد برنج) بر اساس نظر کارشناسان سازمان‌های جهاد کشاورزی هر دو استان و تعدیل آن با استفاده از رابطه ویبول محاسبه شد. با توجه به این موضوع که در مازندران آمل دورتر از مناطق ساحلی خزر واقع شده و تفاوت هایی از لحاظ اقلیمی نسبت به سایر ایستگاه های مازندران دارد، این استان به دو بخش تقسیم و آمل به عنوان ایستگاه مستقل و قراخیل به عنوان نماینده سایر ایستگاه ها برای محاسبه تقویم زراعی درمحاسبات درنظر گرفته شد. میانگین بلندمدت دمای روزانه در آمل ۱۸ درجه سلسیوس بوده که ۲ تا ۳ درجه نسبت به سایر شهرستان‌های استان پایین‌تر می‌باشد (آمارنامه سال ۹۸-۱۳۷۱). همچنین در استان خوزستان نیز با توجه به رفتار اقلیمی متفاوت‌تر ایستگاه ایذه از نظر مقادیر متغیرهای اقلیمی مانند دما نسبت به سایر ایستگاه ها در محاسبه تقویم زراعی، جداگانه در نظر گرفته شد. تقویم زراعی شهرستان‌های منتخب در جداول ۴ و ۵ آمده است.

جدول۴. تقویم زراعی برنج رقم طارم در آمل و قراخیل

مرحله نمو	تاریخ شروع و خاتمه	تاریخ شروع و خاتمه
	آمل	قراخیل
نشا	۱۱ اردیبهشت تا۲ خرداد	۳۰ فروردین تا ۵ اردیبهشت
پنجه زنی	۳ تا ۲۶ خرداد	۶ اردیبهشت تا ۱ تیر
ساقه دهی	۲۷ خرداد تا ۶ تیر	۲ تا ۱۱ تیر
خوشه و گل دادن	۷ تا ۱۷ تیر	۱۲ تیر تا ۲ مرداد
شیری شدن	۱۸ تا ۲۵ تیر	۳ تا ۹ مرداد
مومی شدن	۲۶ تیر تا ۳ مرداد	۹ تا ۲۷ مرداد
رسیدن و برداشت	۴ تا ۱۹ مرداد	۲۷ تا ۳۱ مرداد
جمع (روز)	۱۰۲ روز	۱۲۵ روز

جدول۵. تقویم زراعی برنج رقم عنبربو در اهواز، دزفول، شوش، شوشتر، بستان، رامهرمز، بهبهان، آبادان و مسجد سلیمان به همراه ایذه

مراحل نمو	تاریخ شروع و خاتمه (سایر شهرستان‌ها)	تاریخ شروع و خاتمه
		ایذه
نشا	۳۰خرداد تا ۲۸تیر	۲۳ خرداد تا ۲۱ تیر
پنجه زنی	۲۹ تیر تا ۱۷ مرداد	۲۲ تیر تا ۹ مرداد
ساقه دهی	۱۸ تا ۲۷ مرداد	۱۰ مرداد تا ۲۰ مرداد
خوشه و گلدهی	۲۸مرداد تا ۶ شهریور	۲۱ مرداد تا ۳۰ مرداد
شیری شدن	۷ تا ۱۶شهریور	۳۱ مرداد تا ۹ شهریور
مومی شدن	۱۷شهریور تا ۵مهر	۱۰ شهریور تا ۲۸ شهریور
رسیدگی و برداشت	۶ تا ۱۱مهر	۲۹ شهریور تا ۳ مهر
جمع (روز)	۱۰۵	۱۰۵

نمایه‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی

هرکدام از نمایه های اقلیمی از زمان نشا تا برداشت گیاه برای ارقام پرکاربرد برنج در دو استان با محاسبه تعداد روزهای مورد نیاز برای هرمرحله بر اساس نیاز گیاه به درجه روزهای رشد محاسبه گردید. دمای پایه برای محاسبه درجه روزهای رشد برنج ۱۰ درجه سلسیوس درنظر گرفته شد. در صورتی که دمای میانگین روزانه کمتر از دمای پایه باشد، مقدار GDD صفر لحاظ شد (بازگیر، ۱۳۷۸). باتوجه به در دسترس بودن اطلاعات زراعی، به منظور رعایت طول دوره

مشترک آماری و مشابه طول دوره داده‌های اقلیمی در مجموع سه ایستگاه از استان مازندران شامل قراخیل، رامسر و نوشهر و در استان خوزستان چهار ایستگاه شامل اهواز، شوشتر، بهبهان و رامهرمز برای محاسبه نمایه‌های اقلیمی کشاورزی انتخاب گردید. سایر ایستگاه‌های هر دو استان فاقد اطلاعات زراعی در طول دوره آماری مدنظر بوده و از اطلاعات اقلیمی آن‌ها برای محاسبات نمایه‌های اقلیمی برای ارزیابی مقادیر نمایه‌ها و ارائه پیشنهادها استفاده شده است.

تحلیل GDD، SAT و BEDD استان مازندران

نمایه‌های اقلیمی کشاورزی از مرحله نشا تا برداشت برای هر یک از مراحل فنولوژیک برنج محاسبه گردید و میانگین مقادیر آنها طی کل فصل رشد در ایستگاه‌های مختلف استخراج و در ارتباط با عملکرد نهایی محصول مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت با توجه به نتایج درج شده (جدول شماره ۶) میانگین بیشترین مجموع نمایه‌های اقلیمی مربوط به ایستگاه ساری می‌شود، همچنین کمترین مجموع نمایه‌های اقلیمی در طول فصل رشد در ایستگاه سیاه بیشه قرار گرفته است. در جدول ۷، نمایه‌های اقلیمی کشاورزی مراحل نمو برنج در آمل به عنوان نماینده استان مازندران آمده است.

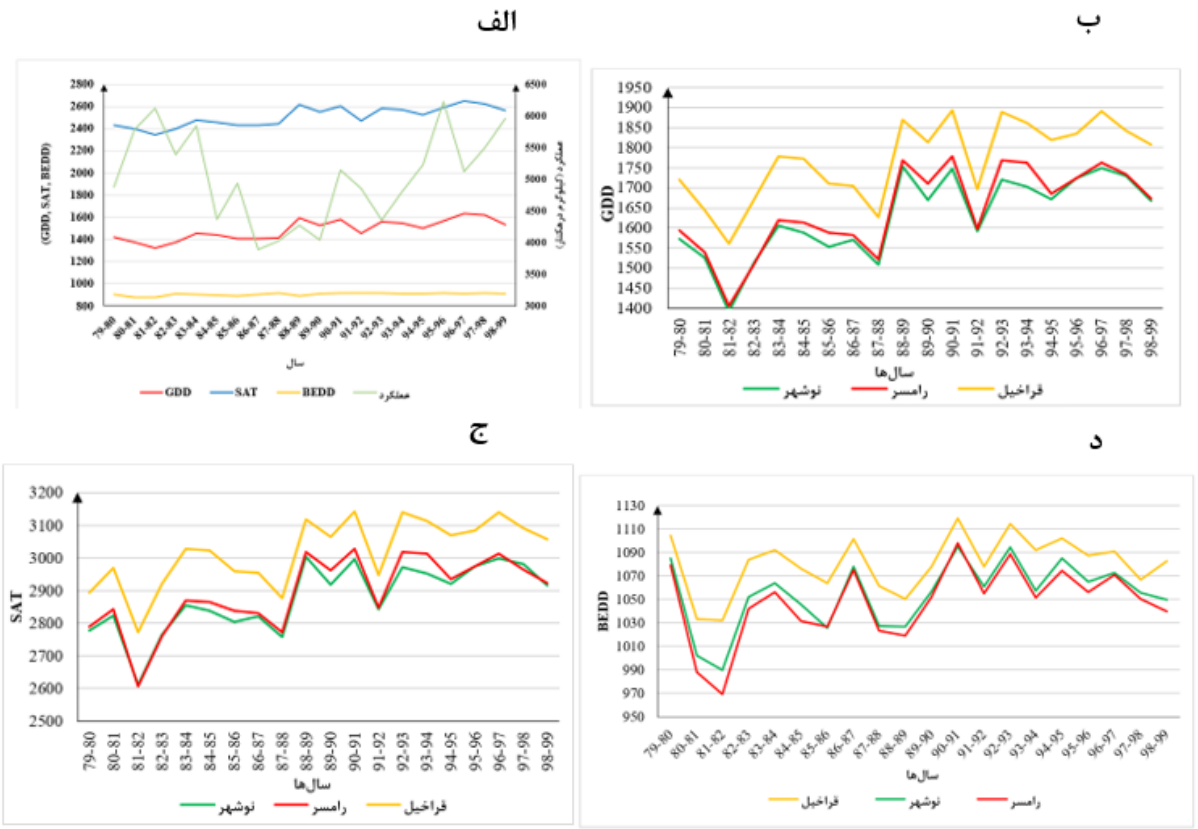
جدول ۶. میانگین نمایه‌های اقلیمی–کشاورزی فصل رشد در استان مازندران (۹۹–۱۳۷۹)

ایستگاه	درجه روزهای رشد (GDD)	مجموع دمای فعال (SAT)	درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی (BEDD)
آمل	۱۴۸۸	۲۵۰۸	۹۱۲
قراخیل	۱۷۷۰	۳۰۱۸	۱۰۸۰
نوشهر	۱۶۲۷	۲۸۷۶	۱۰۵۴
رامسر	۱۶۴۶	۲۸۹۳	۱۰۴۷
کیاسر	۱۱۸۷	۲۳۶۲	۹۳۷
ساری	۱۸۷۱	۳۱۰۸	۱۰۸۵
بابلسر	۱۸۱۲	۳۰۶۰	۱۰۸۵
سیاه بیشه	۹۴۹	۲۱۳۵	۸۳۲

بر اساس یافته‌های این پژوهش و با استناد به داده‌های مربوط به تاریخ‌های نشاکاری و برداشت، تقویم زراعی اختصاصی برای شهرستان آمل تدوین گردید. نتایج نشان داد که اگرچه زمان نشاکاری در این منطقه با اندکی تأخیر نسبت به سایر مناطق انجام می‌گیرد، اما برداشت محصول زودتر صورت می‌پذیرد. روند تغییرات نمایه‌های اقلیمی با عملکرد محصول آمل در شکل شماره ۳ دیده می‌شود.

جدول ۷. میانگین نمایه‌های اقلیمی–کشاورزی مراحل نمو در آمل، نماینده استان مازندران (۹۹–۱۳۷۹)

مرحله نمو	GDD	SAT	BEDD
نشا	۲۴۱	۴۷۱	۱۹۵
پنجه‌زنی	۳۳۵	۵۷۵	۲۱۶
ساقه‌دهی	۱۶۹	۲۷۹	۹۹
خوشه و گلدهی	۱۵۹	۲۵۹	۹۰
شیری شدن	۱۶۷	۲۶۷	۹۶
مومی شدن	۳۲۹	۵۱۹	۱۷۱
رسیدگی و برداشت	۸۸	۱۳۸	۴۵
جمع	۱۴۸۸	۲۵۰۸	۹۱۲



شکل۳. تغییرات مقادیر نمایه‌های اقلیمی (الف. تغییرات مقادیر نمایه‌های اقلیمی در آمل/ ب. تغییرات مقادیر درجه روزهای رشد/ ج. تغییرات مقادیر مجموع دماهای فعال/ د. تغییرات مقادیر درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی)

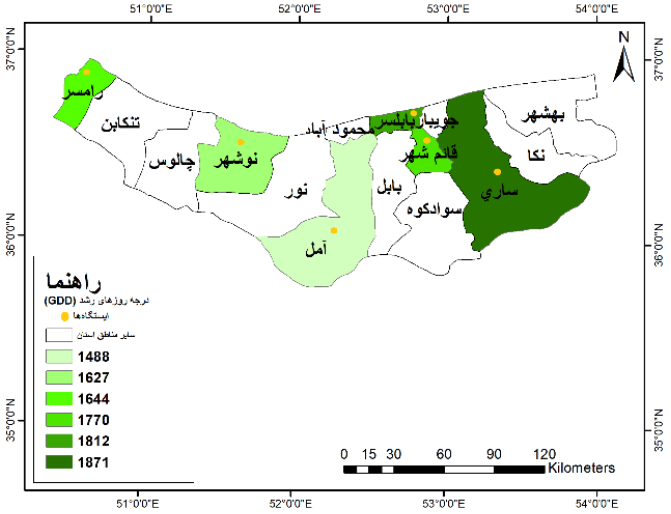
با توجه به نمودارهای شکل ۳، از میان سه ایستگاه استان مازندران، ایستگاه قراخیل بیشترین مقادیر سه شاخص حرارتی شاملGDD ، SAT و BEDD را دارا بوده است. در این ایستگاه، بیشترین عملکرد محصول در سال زراعی ۸۲ با مقدار ۶۳۲۲ کیلوگرم در هکتار ثبت شده، در حالی که کمترین عملکرد به سال زراعی ۸۳ با مقدار ۴۰۱۸ کیلوگرم در هکتار مربوط می‌شود. مقادیر شاخص‌های اقلیمی در سال زراعی ۸۲ به ترتیب برای GDD، SAT و BEDD برابر با ۱۵۵۰، ۲۷۶۰ و ۱۰۲۴ درجه روز بوده است. در مقابل، در سال ۸۳–۸۲ این مقادیر به ترتیب ۱۶۵۵، ۲۹۰۵ و ۱۰۷۸ درجه روز بوده‌اند .در هر سه ایستگاه، کاهش نسبتاً محسوسی در مقادیر شاخص‌های حرارتی در سال زراعی ۸۲–۸۱ مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از دماهای پایین‌تر از دمای پایه (۱۰ درجه سلسیوس) در طول فصل رشد باشد. در ایستگاه نوشهر، بیشترین عملکرد محصول با مقدار ۵۵۴۸ کیلوگرم در هکتار به سال زراعی ۸۲ مربوط است؛ در این سال مقادیرGDD، SAT و BEDD به ترتیب ۱۳۸۲، ۲۶۰۲ و ۱۰۰۹ درجه روز بوده‌اند. در ایستگاه رامسر نیز بیشترین عملکرد محصول در سال زراعی ۸۱ با مقدار ۷۳۶۵ کیلوگرم در هکتار ثبت شده است که در این سال افزایش چشمگیر عملکرد در این ایستگاه بیشتر میتواند بعلت افزایش سطح زیرکشت باشد؛ در این سال، مقادیرGDD، SAT و BEDD به ترتیب ۱۵۳۹، ۲۸۴۲ و ۹۸۸ درجه روز بوده‌اند. مقادیر شاخص‌های اقلیمی–کشاورزی در استان مازندران بر اساس داده‌های زراعی محاسبه شده است. در سایر ایستگاه‌ها از جمله بابلسر، ساری، کیاسر و سیاه‌بیشه، به دلیل محدودیت داده‌های زراعی، صرفاً شاخص‌های اقلیمی–کشاورزی بر مبنای اطلاعات اقلیمی محاسبه شده تا امکان مقایسه با ایستگاه‌های اصلی فراهم شود. به طور کلی، شاخص BEDD در طول دوره‌ی مورد بررسی نوساناتی را نشان می‌دهد اما

روند کلی آن نسبتاً ثابت و کمی صعودی است. شاخص GDD تغییرات محدودی داشته و عمدتاً در بازه‌ی ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه–روز باقی مانده است SAT نیز کمترین مقدار را در میان سه شاخص دارد و طی سال‌ها تغییر چشمگیری نداشته است. در مقابل، عملکرد محصول نوسانات قابل توجهی داشته و در برخی سال‌ها با افزایش محسوس همراه بوده است؛ به‌ویژه در سال‌هایی که شاخص BEDD نیز افزایش یافته است. این الگو نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد برنج با نوسانات شاخص‌های دمایی، به‌ویژه BEDD ، همبستگی دارد؛ به این معنا که افزایش BEDD معمولاً با افزایش عملکرد همراه بوده است. از سوی دیگر، شاخص‌های GDD و SAT روندی نسبتاً پایدار داشته و تأثیر مستقیم کمتری بر تغییرات عملکرد محصول نشان می‌دهند. این یافته‌ها اهمیت شاخص BEDD را در تبیین تغییرات عملکرد برنج در واکنش به شرایط اقلیمی برجسته می‌کند.

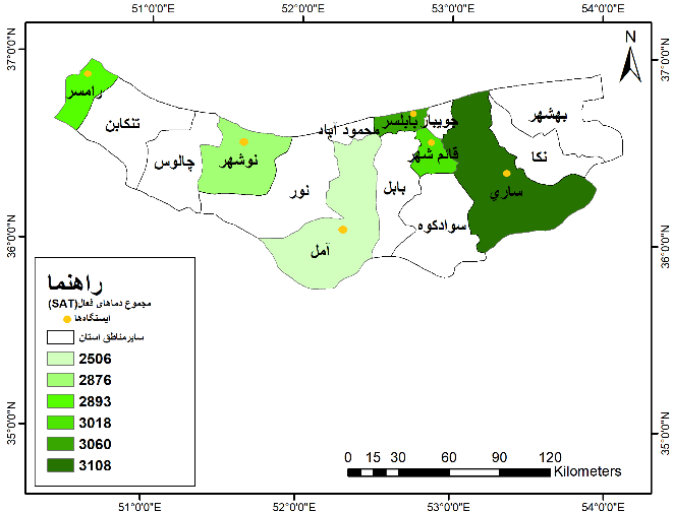
بررسی روند شاخص‌های دمایی طی دو دهه‌ی مورد مطالعه در سه ایستگاه قراخیل، رامسر و نوشهر نشان می‌دهد که GDD، SAT و BEDD به طور کلی روندی افزایشی داشته‌اند، هرچند نوسانات سالانه در برخی سال‌ها قابل توجه است. بیشینه مقادیر این شاخص‌ها در قراخیل و کمینه‌ی آن‌ها در نوشهر مشاهده شده و رامسر به جز سالی که دارای بیشترین عملکرد محصول بوده در موقعیتی میانی از نظر مقادیر نمایه ها قرار دارد. کاهش موقت شاخص‌ها در سال‌های ابتدایی (۸۰ تا ۸۳) احتمالاً ناشی از کاهش میانگین دما بوده است؛ پس از آن، افزایش تدریجی دما شرایط مناسب‌تری را برای رشد و نمو گیاه فراهم کرده است. این شاخص‌ها نشان می‌دهند که در این مناطق، گیاه فرصت کافی برای تکمیل مراحل بحرانی رشد و رسیدگی را داشته و انرژی دمایی لازم تأمین شده است. تحلیل عملکرد محصول نشان می‌دهد که روند افزایشی شاخص‌های دمایی تأثیر مستقیم بر بهره‌وری برنج داشته است؛ به طوری که قراخیل بیشترین عملکرد، نوشهر کمترین، و رامسر عملکردی در سطح متوسط را ثبت کرده است. افزایش تدریجی GDD، SAT و BEDD با بهبود شرایط دمایی و طولانی‌تر شدن فصل رشد مرتبط بوده و به ارتقای عملکرد کلی محصول منجر شده است. با این حال، نوسانات سالانه بیانگر آن است که در برخی سال‌ها شرایط دمایی بهینه به طور کامل فراهم نبوده و در پیش‌بینی روندهای آتی، اثرات احتمالی تنش‌های دمایی نیز باید مد نظر قرار گیرد.

توان‌سنجی کشت برنج در استان مازندران

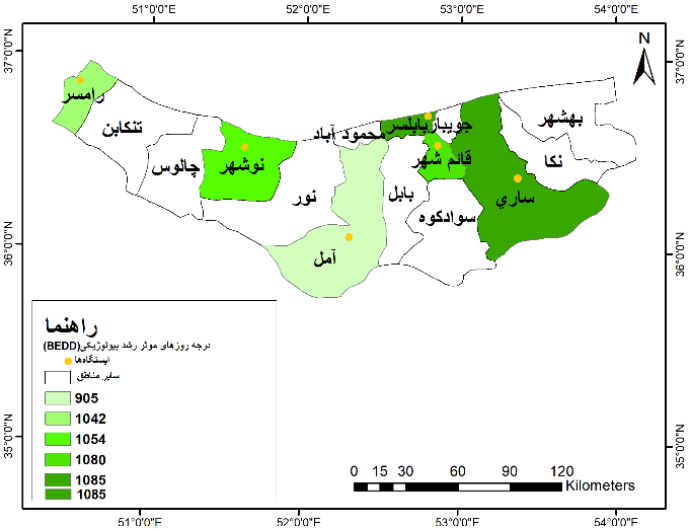
با توجه به نتایج بدست‌آمده از محاسبات هرکدام از نمایه‌های اقلیمی در استان مازندران مشخص شد که که در استان مازندران دو ایستگاه بابلسر و ساری نیز همانند سایر ایستگاه‌ها قابلیت کشت داشته و هرگاه مقادیر نمایه‌های اقلیمی در دامنه‌های مشخص شده که قبلا نیز به آن پرداخته شد قرار گیرند به تناسب عملکرد برنج در آن‌ها دستخوش تغییر خواهد شد. دو ایستگاه سیاه بیشه و کیاسر از نظر مقادیر درجه روزهای رشد (GDD) و مجموع دماهای فعال (SAT)، نسبت به سایر ایستگاه‌ها با توجه به وجود دماهای پایین‌تر از دمای منفی در اوایل دوره نشا که در محاسبات صفر در نظر گرفته شدند در مقادیر بسیار پایینی قرار داشته و مناطق مناسب کشت برنج نمی‌باشند. مناطق دارای پتانسیل کشت برنج در استان مازندران در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ دیده می‌شود.



شکل ۴. مجموع درجه روزهای رشد ایستگاه‌های مطالعاتی استان مازندران (۹۹-۱۳۷۹)



شکل ۵. مجموع دماهای فعال ایستگاه‌های مطالعاتی استان مازندران (۹۹-۱۳۷۹)



شکل ۶. مجموع درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی ایستگاه‌های مطالعاتی استان مازندران (۹۹-۱۳۷۹)

با توجه به نتایج مقادیر نمایه‌های اقلیمی بطور کلی در سطح استان مازندران دو ایستگاه آمل و قراخیل از پتانسیل بالایی جهت کشت برنج برخوردار بوده بطوریکه عمده سهم تولید برنج در استان مازندران طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۷۹ به قراخیل با (۶۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) و در آمل با (۶۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشته است. می‌توان چنین استنباط کرد که در محدوده درجه روزهای رشد ۱۳۲۲-۱۸۰۰، مجموع دماهای فعال ۳۱۴۱-۲۳۴۲، درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی ۱۱۰۲-۸۷۶ بهترین دامنه نمایه‌های اقلیمی برای بیشترین عملکرد برنج در استان مازندران می‌باشند. نتایج آزمون‌های روندیابی من-کندال و شیب سن در جدول ۸ برای نمایه‌های مورد مطالعه در شهرستان آمل آمده است.

جدول ۸. پارامترهای آزمون‌های من-کندال و شیب سن برای عملکرد و نمایه‌های مورد مطالعه در آمل

مشخصه	GDD	SAT	BEDD	عملکرد
روند	افزایشی	افزایشی	افزایشی	بدون روند
p-value	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۵۸ns
معناداری	معنادار	معنادار	معنادار	بی‌معنی
شیب سن (در سال)	۱۱/۶۵	۱۱/۸۰	۱/۵	۱۸/۴

**: معنادار در سطح ۱ درصد؛ ns: بی معنی (non-significant)

تحلیل نمایه‌های GDD، SAT و BEDD استان خوزستان

میانگین نمایه‌های اقلیمی در طول فصل رشد در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان در مراحل مختلف نمو محاسبه شده و مقادیر هرکدام در رابطه با عملکرد محصول بررسی شدند. با ثابت ماندن درجه روز موثر رشد بیولوژیکی در همه ایستگاه‌ها بیشترین مقادیر درجه روز و مجموع دماهای فعال در ایستگاه آبادان (به ترتیب ۴۳۱۷ و ۵۳۶۷) و کمترین مقادیر مربوط به ایستگاه ایذه (به ترتیب ۲۱۹۶ و ۳۲۴۶) می‌باشد. مقادیر هرکدام از نمایه‌های اقلیمی در سایر ایستگاه‌ها در جدول شماره ۹ آمده است. در جدول ۱۰، نمایه‌های اقلیمی کشاورزی مراحل نمو برنج در اهواز به عنوان نماینده استان مازندران نیز امده است.

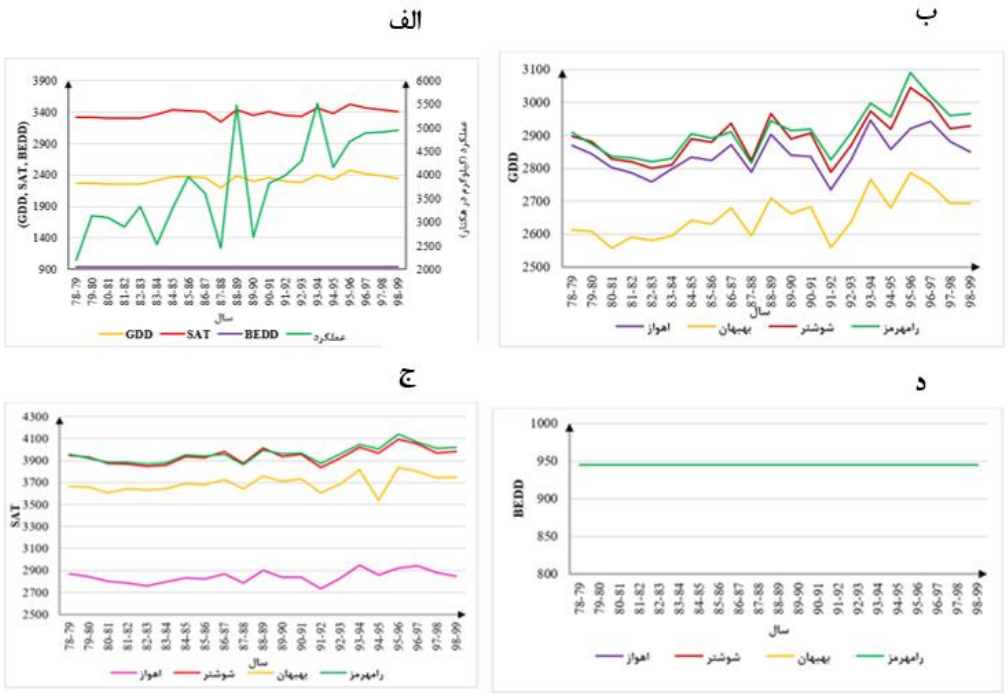
جدول ۹. میانگین نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی فصل رشد برنج در استان خوزستان (۹۹-۱۳۷۸)

ایستگاه	درجه روزهای رشد (GDD)	مجموع دماهای فعال (SAT)	درجه روز موثر رشد بیولوژیکی (BEDD)
اهواز	۲۸۴۲	۳۸۹۶	۹۴۵
شوشتر	۲۸۹۳	۳۹۴۳	۹۴۵
بهبهان	۲۶۵۳	۳۶۹۴	۹۴۵
رامهرمز	۲۹۱۰	۳۹۶۰	۹۴۵
ایذه	۲۲۹۵	۳۳۴۶	۹۴۵
دزفول	۲۶۰۶	۳۶۵۶	۹۴۵
آبادان	۳۳۶۷	۴۴۱۷	۹۴۵
مسجد سلیمان	۲۸۲۲	۳۸۷۲	۹۴۵
بستان	۲۶۸۷	۳۷۳۷	۹۴۵

جدول ۱۰. میانگین نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی مراحل نمو در اهواز، نماینده استان خوزستان (۹۹-۱۳۷۹)

مرحله نمو	GDD	SAT	BEDD
نشا	۸۴۳	۱۱۴۳	۲۷۰
پنجه‌زنی	۵۵۱	۷۴۱	۱۷۱
ساقه‌دهی	۳۱۴/۵	۴۲۴/۵	۹۹
خوشه و گلدهی	۲۷۸/۸	۳۷۸/۸	۹۰
شیری شدن	۲۶۷/۶	۳۶۷/۶	۹۰
مومی شدن	۴۵۴/۸	۶۴۸/۸	۱۷۱
رسیدگی و برداشت	۱۳۲	۱۹۲	۵۴
جمع	۲۸۴۲	۳۸۹۶	۹۴۵

همانگونه که قبلا بیان شد، تقویم زراعی جداگانه‌ای برای ایذه نسبت به سایر شهرستان‌های استان در نظر گرفته شد. بر این اساس با توجه به شرایط دمایی، نشا برنج در این شهرستان زودتر از شهرستان‌های دیگر شروع و از طرف دیگر برداشت محصول دیرتر انجام می‌شود. روند تغییرات نمایه‌های اقلیمی با عملکرد محصول ایذه در نمودار شکل الف دیده می‌شود. با توجه به نمودار میتوان چنین استنباط کرد که در این ایستگاه روند تغییر شاخص GDD همواره با عملکرد محصول در طی سالهای مختلف انطباق داشته و با افزایش مقدار این شاخص عملکرد روند صعودی داشته است. در طی سالهای ۸۴ تا ۸۷ درجه روز رشد روند تقریبا ثابتی داشته ولی در سال زراعی ۸۸-۸۷، این شاخص روند کاهشی داشته و در این سال که درجه روز رشد در کمترین مقدار خود قرار داشته (۲۱۴۱ درجه روز) عملکرد محصول نیز کاهش چشمگیری داشته و به ۲۴۵۶ کیلوگرم در هکتار رسیده و در سال زراعی ۸۹ با افزایش درجه روز رشد به ۲۳۴۵ درجه روز، عملکرد نیز حالت صعودی داشته و به ۵۴۸۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است. مجموع دماهای فعال (SAT) همواره به تبعیت از درجه روزهای رشد (GDD) دارای روندی افزایشی و یا کاهشی می‌باشد. درجه روز موثر رشد بیولوژیکی BEDD در ایذه نیز همانند سایر ایستگاه ها ثابت بوده و به همین دلیل نمی‌توان با افزایش و کاهش این نمایه قضاوتی در خصوص تغییرات عملکرد برنج داشت. شکل شماره ۷ روند تغییرات مقادیر نمایه‌های اقلیمی را نشان می‌دهد.



شکل۷. تغییرات مقادیر نمایه‌های اقلیمی (الف. تغییرات مقادیر نمایه‌های اقلیمی در ایذه/ ب. تغییرات مقادیر درجه روزهای رشد/ ج. تغییرات مقادیر مجوع دماهای فعال/ د. تغییرات مقادیر درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی)

روند کلی GDD نسبتاً نوسانی و در مجموع صعودی ملایم دارد.در بعضی سال‌ها (مانند ۸۹ و ۹۳) افت‌های قابل توجه دیده می‌شود، اما پس از آن دوباره افزایش می‌یابد. روند SAT در تمام دوره نسبتاً ثابت تا کمی افزایشی است و مقدار آن در اکثر سال‌ها بالاست اما نوسانات SAT کم‌تر از GDD و BEDD است.

عملکرد در سال‌های ابتدایی پایین‌تر بوده اما در ادامه (به‌ویژه پس از سال ۸۹) روند کلی افزایشی با نوسانات شدید دارد. چند قله مشخص (مانند ۸۹ و ۹۳) دیده می‌شود که عملکرد به‌شدت بالا رفته و سپس مجدداً کاهش یافته است. با افزایش SAT (که در طول دوره تقریباً روند ثابت یا کمی افزایشی دارد)، عملکرد نیز به‌طور کلی افزایشی بوده، به‌ویژه در نیمه دوم دوره بررسی. با افزایش GDD نیز در بسیاری از سال‌ها عملکرد رشد کرده، ولی این رابطه کاملاً خطی نیست و نوسانات زیاد عملکرد نشان می‌دهد عوامل دیگری هم دخیل هستند. ایستگاه ایذه در استان خوزستان با توجه به پایین تر بودن دما در سطح پایین تری از مقادیر شاخص ها قرار دارد. میانگین بلند مدت عملکرد برنج در این ایستگاه رتبه چهارم را در بین ایستگاه های منتخب داشته است. دومین جایگاه بعد از ایذه از نظر پایین بودن مقادیر شاخص ها مربوط به بهبهان می‌باشد. سه ایستگاه اهواز، رامهرمز و شوشتر تغییر پذیری کمتری نسبت به هم داشته و با تغییر تاریخ نشا تغییرات جزئی در مقادیر هریک از داشته و درجه روز رشد بیولوژیکی (BEDD) در همه‌ی ایستگاه‌ها همواره عدد ثابتی بوده است. سال ۸۹ در اهواز با عملکرد محصول ۵۱۸۶ کیلوگرم در هکتار اولین رتبه را به خود اختصاص داده است، در این سال شاخص درجه روزهای رشد (GDD) ۲۹۰۳ و مجموع دماهای فعال (SAT) ۳۹۵۲ درجه بوده است. در این ایستگاه کمترین عملکرد مربوط به سال زراعی ۷۹ با ۳۲۱۴ کیلوگرم در هکتار و درجه روزهای رشد ۲۸۶۹، مجموع دماهای فعال رشد ۳۹۱۹ می‌باشد. در ایستگاه بهبهان بیشترین عملکرد (۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سال ۹۸ با درجه روزهای رشد ۲۶۹۴ و مجموع دماهای فعال ۳۷۴۴ بوده است. در این ایستگاه کمترین عملکرد با ۲۴۸۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به سال ۸۴ با درجه روزهای رشد ۲۵۹۴، مجموع دماهای فعال ۳۶۴۴ می‌باشد. در شوشتر بیشترین عملکرد مربوط به سال ۸۹ میباشد. درجه روزهای رشد، مجموع دماهای فعال مربوط به این سال به ترتیب ۲۹۶۵، ۴۰۱۵ می‌باشد. در ایستگاه رامهرمز درجه روزهای رشد ۲۹۶۶ و مجموع دماهای فعال ۴۰۲۰، برای بیشترین عملکرد (۴۹۷۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سال زراعی ۹۹ بوده است. کمترین عملکرد در این ایستگاه با ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به سال ۹۰ است که درجه روزهای رشد این سال ۲۹۱۵، و مجموع دماهای فعال برابر با ۳۹۶۵ بوده است. به‌طور کلی در استان خوزستان، به استثنای چند سال افزایش مقادیر GDD و SAT منجر به روند کلی افزایشی عملکرد شده است. نتایج آزمون‌های روندیابی من–کندال و شیب سن در جدول ۱۱ برای نمایه‌های مورد مطالعه در شهرستان آمل آمده است.

جدول ۱۱. پارامترهای آزمون‌های من–کندال و شیب سن برای عملکرد و نمایه‌های مورد مطالعه در اهواز

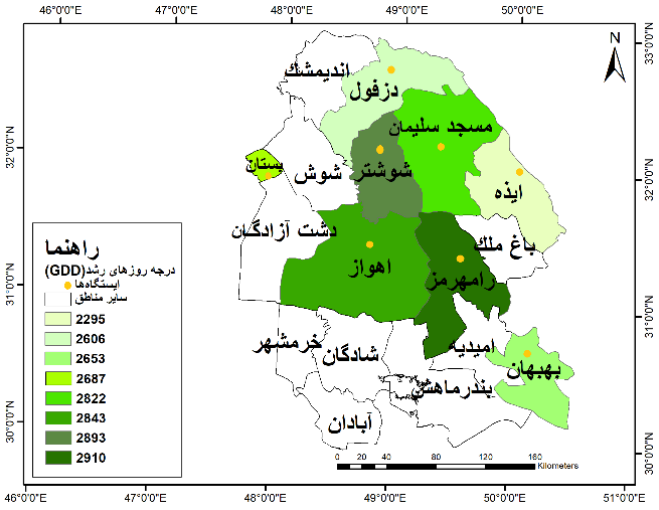
عملکرد	SAT	GDD	مشخصه
افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند
۰/۰۳*	۰/۰۵۰*	۰/۰۴۹*	p-value
معنادار	معنادار	معنادار	معناداری
۴۵/۹۱	۳/۹۵	۴/۰۸	شیب سن (در سال)

*: معنادار در سطح ۵ درصد

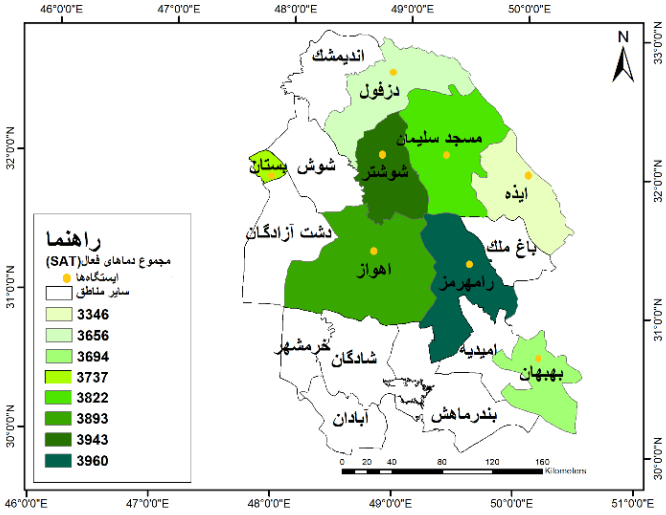
توان‌سنجی کشت برنج در استان خوزستان

بررسی نمایه‌های اقلیمی محاسبه شده برای همه ایستگاه‌های منتخب از استان خوزستان نشان می‌دهد ایستگاه آبادان با توجه به شدت دمای بالا و به تبع بالا رفتن مقادیر درجه روزهای رشد و مجموع دماهای فعال و برخورد گیاه به تنش

دمای بالا منطقه نامناسبی جهت کشت برنج می‌باشد. مناطق دارای پتانسیل کشت برنج در استان خوزستان در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است.



شکل ۸. مجموع درجه روزهای رشد ایستگاه‌های مطالعاتی استان خوزستان (۱۳۷۸-۹۹)



شکل ۹. مجموع دماهای فعال ایستگاه‌های مطالعاتی استان خوزستان (۹۹-۱۳۷۸)

با توجه به نتایج ارائه‌شده در نمودارها و اشکال فوق، ایستگاه‌های دزفول، بستان و مسجدسلیمان از پتانسیل بالایی برای کشت برنج برخوردار هستند. عمده تولید برنج در استان خوزستان به دو شهرستان شوشتر (با عملکرد ۴۲۵۲ کیلوگرم در هکتار) و اهواز (با عملکرد ۴۱۶۱ کیلوگرم در هکتار) اختصاص دارد. در این استان، همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، رابطه معناداری میان عملکرد و شاخص BEDD مشاهده نشده است؛ به‌طوری که با وجود تغییرات عملکرد برنج در سال‌های مختلف، مقدار این شاخص ثابت و معادل ۹۴۵ باقی مانده است. شهرستان ایذه نسبت به سایر مناطق استان دارای دمای پایین‌تر و بارش بیشتری است؛ به همین دلیل مقادیر شاخص‌های GDD، SAT و BEDD در آن کمتر بوده است. با این وجود، میانگین عملکرد بلندمدت در ایذه با ۳۸۰۵ کیلوگرم در هکتار، از شهرستان رامهرمز بیشتر

است. در ایستگاه‌های مختلف استان خوزستان، افزایش مقادیر GDD و SAT معمولاً منجر به افزایش عملکرد برنج می‌شود، هرچند در برخی سال‌ها استثنائاتی نیز مشاهده شده است (شکل ۷).

بر اساس نتایج نمودارها می‌توان به صراحت بیان کرد که در استان خوزستان نیز همانند استان مازندران، بازه‌های بهینه‌ای برای GDD و SAT وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که عبور از این محدوده‌ها نه‌تنها موجب افزایش عملکرد نمی‌شود، بلکه در بسیاری از موارد منجر به کاهش عملکرد می‌گردد. در سطح استان خوزستان، بیشترین عملکردها در بازه‌های GDDبین ۲۹۰۳ تا ۲۹۶۶ و SAT بین ۳۷۴۴ تا ۴۰۲۰ مشاهده شده است. شهرستان ایذه در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها الگوی متفاوتی دارد، به‌طوری که بازه‌های GDD بین ۲۳۵۰ تا ۲۳۸۹ و SAT بین ۳۳۹۴ تا ۳۴۹۲ برای دستیابی به بیشترین عملکرد مناسب‌تر هستند. به‌طور کلی، مناطق با مقادیر GDD کمتر از ۲۳۵۰ و SAT کمتر از ۳۳۹۴ از نظر عملکرد در وضعیت ضعیفی قرار دارند. در ادامه، پراکندگی مکانی مناطق ضعیف، مناسب و بسیار مناسب برای کشت برنج در استان خوزستان نمایش داده شده است.

بحث

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که عملکرد برنج با افزایش ارتفاع روندی کاهشی می‌یابد (Jin et al. 2005; Bonwichai et al. 2018). این موضوع می‌تواند ناشی از کاهش دما، کوتاه‌تر شدن دوره رشد و محدودیت در تجمع حرارت مؤثر در نواحی مرتفع باشد. به بیان دیگر، کاهش مجموع واحدهای حرارتی در ارتفاعات بالاتر، شرایط لازم برای تکامل کامل دوره فنولوژیکی گیاه را محدود می‌سازد و در نتیجه، عملکرد نهایی کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگری (Ali et al., 2006) نشان داده شد که گیاه برنج در مرحله رویشی به دمای به نسبت بالاتری نیاز دارد. همچنین یافته‌های محققین دیگری (Abhilash et al., 2017; Anna & Mannan, 2020) حاکی از آن است که در کشت‌های زودهنگام، گیاه برای رسیدن به بلوغ به دمای بیشتری نیازمند است، در حالی که با تأخیر در زمان کاشت، مقدار حرارت مؤثر مورد نیاز برای تکمیل مراحل نمو کاهش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر نیز همسو است و نشان می‌دهد که تغییر در زمان کاشت می‌تواند از طریق تغییر در نیاز حرارتی، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد برنج داشته باشد(Aiyenda et al. 2013; Suktana et al. 2019).

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، کاربرد نمایه‌های اقلیمی–کشاورزی در شناسایی مناطق مناسب کشت به منظور بهره‌وری بهینه از منابع و امکانات بود. نتایج حاصل نشان داد که عوامل محیطی، به ویژه دما، نقش تعیین‌کننده‌ای در روند رشد گیاه دارند و می‌توانند بر عملکرد محصول در مراحل مختلف رشد تأثیرگذار باشند. در استان خوزستان، ایستگاه‌های ایذه، رامهرمز و بهبهان با افزایش مقادیر GDD و SAT، عملکرد محصول بالاتری را نشان دادند. همچنین، در دوره رشد رویشی، گیاه نیازمند دماهای بالاتر برای نمو و عبور به مراحل بعدی رشد است. بر اساس نتایج پژوهش، ارتفاع از سطح دریا که باعث کاهش دما می‌شود، نقش مهمی در عملکرد محصول ایفا می‌کند. به‌عنوان مثال، در استان مازندران، ایستگاه‌های کیاسر و سیاه بیشه به دلیل ارتفاع زیاد و کاهش شدید دما و وقوع یخ‌زدگی، سطح زیرکشت برنج بسیار پایین و یا ناموجود است. مشابه این موضوع در ایستگاه ایذه استان خوزستان مشاهده شد؛ ارتفاع بالا و کاهش دما باعث شد عملکرد برنج نسبت به سایر ایستگاه‌ها پایین باشد. همچنین، در ایستگاه آبادان به دلیل شدت بالای دما، کشت برنج منجر به عملکرد مناسب

نمی‌شود. دامنه‌ها و طبقات تعیین‌شده در این مطالعه برای مناطق مختلف کشت برنج در دو استان با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت است. در استان مازندران، مقادیر بهینه برای بالاترین عملکرد عبارت‌اند از: درجه روزهای رشد (۱۴۸۰–۱۷۰۰)، مجموع دماهای فعال (۲۵۰۰–۲۸۰۰) و درجه روزهای موثر رشد بیولوژیکی (۱۰۲۰–۹۱۰) در استان خوزستان، محدوده‌های مناسب شامل درجه روزهای رشد ۲۸۵۰–۲۸۹۰) و مجموع دماهای فعال ۳۸۰۰–۳۹۰۰ می‌باشند.

تفاوت‌های اقلیمی بین مناطق مختلف سبب تغییر در مقادیر نمایه‌های اقلیمی و تعیین و توزیع مناطق کشت برنج شده است. به‌طور خاص، انواع مناطق کشت بر اساس تغییرات نمایه‌ها دارای محدوده‌های دمایی و دوره‌های زمانی متفاوت برای هر مرحله رشد گیاه هستند. در ایستگاه‌های ایذه (خوزستان)، کیاسر و سیاه بیشه (مازندران)، ارتفاع از سطح دریا باعث کاهش دما شده است؛ این موضوع منجر به کاهش عملکرد در ایذه و عدم اختصاص زمین‌های زراعی به کشت برنج در کیاسر و سیاه بیشه شده است. در ایستگاه‌های مازندران، مواجهه با دماهای منفی در اوایل دوره نشا موجب تنش سرما در گیاه شد. با به‌تأخیر انداختن تاریخ نشا (حداقل ۱۴ روز) و انتخاب دقیق ارقام برنج، امکان کشت موفق در زمین‌های دارای پتانسیل فراهم خواهد شد تا کشاورزان به درآمد قابل قبولی دست یابند. نتایج حاصل از نقشه‌ها و تحلیل همبستگی‌ها نشان داد که در استان خوزستان، دو نمایه درجه روزهای رشد و مجموع دماهای فعال بیشترین نقش را در عملکرد گیاه ایفا می‌کنند، در حالی که شاخص BEDD هیچ ارتباط معناداری با تغییرات عملکرد ندارد. در استان مازندران، تغییرات مقادیر درجه روزهای رشد و مجموع دماهای فعال رابطه معنادار با عملکرد نشان نداد؛ با این حال، در ایستگاه نوشهر، یک ارتباط معنادار در سطح ۰,۰۵ با عملکرد مشاهده شد.

در خصوص همبستگی و روابط رگرسیونی قابل ذکر است که همبستگی بین نمایه‌های مورد مطالعه و عملکرد برنج مورد بررسی قرار گرفت که در هیچ یک از موارد این همبستگی معنادار نبود و در هر دو سطح معناداری ۰/۰۵ و همچنین ۰/۰۱ (۵ و ۱ درصد) مقدار sig بیشتر از ۰/۱ بود (p-value > 0.1). همچنین به دلیل معنادار نشدن ضریب همبستگی، رابطه ای بین عملکرد و شاخص‌ها وجود نداشت. این موضوع، ممکن است به دلیل اثر عوامل دیگری مانند دمای اعماق خاک و رطوبت اعماق خاک، ساعات آفتابی و ابرناکی و برهم‌کنش این متغیرها با دمای هوا و همچنین آفات و بیماری‌ها باشد.

حامی مالی

بر اساس اظهار نویسندگان، این مقاله حامی مالی نداشته است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماییم.

منابع

آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۹). غلات (۱۳۹۸– ۱۳۷۸)، وزارت جهاد کشاورزی.

بازگیر، سعید. (۱۳۷۸). *بررسی پتانسیل اقلیمی زراعت گندم دیم، مطالعه موردی استان کردستان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج.

پژاوه، عباس؛ بازگیر، سعید و محمدی، حمید. (۱۴۰۲). توان‌سنجی اقلیمی کشت درخت موز(مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). *پژوهش‌های نوین در مهندسی آب پایدار*، ۲ (۱)، ۵۹–۷۲. http://doi.org/10.22103/nrswe.2023.21072.1031

سبزعلیان، رقیه؛ نوروزی، علیرضا و نظری، محسن (۱۴۰۰). بررسی نقشه سفر مشتری در فروشگاه‌های الکترونیکی کتاب. *تحقیقات کتابداری و اطلاع‌رسانی دانشگاهی*، *۵۵*(۴)، ۱–۲۵. https://doi.org/10.22059/jlib.2022.340459.1599

شاهبایی کوتنایی، علی؛ فرومدی، مجید و احمدی، امید. (۱۳۹۷). تحلیل و مقایسه چرخه‌های دمای کمینه، بیشینه و بارش استان مازندران. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۲(۳)، ۳۹۵–۴۰۹. http://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.395

پرمه، زورار و گیلانپور، امید. (۱۳۸۸). بررسی سیاست‌های تنظیم بازار برنج در ایران و مقایسه آن با کشورهای منتخب و ارائه راهکارهایی برای بهبود تنظیم بازار. *بررسی های بازرگانی*، ۳۸ (۵)، ۱–۱۸.

پورزیدی، علی‌محمد؛ علیجانی، بهلول؛ سلیقه، محمد و گرامی، محمد صالح. (۱۳۹۷). تحلیل فضایی بارش استان مازندران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۲)، ۱–۲۰. http://doi.org/10.29252/jgs.19.52.1

خوشحال دستجردی، جواد و مصطفوی دارانی، مسعود. (۱۳۹۲). *هواشناسی و اقلیم‌شناسی کشاورزی گیاهان زراعی*. سازمان جهانی هواشناسی. اصفهان: انتشارات علم آفرین.

رمضانی‌پور، مهرداد. (۱۳۹۷). پیش‌بینی اثر تغییر آب و هوایی بر شاخص‌های اقلیم–کشاورزی و عملکرد برنج: مطالعه موردی مناطق شمال ایران. *فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۸ (۳۲)، ۷۰–۸۰. http://doi.org/20.1001.1.22516735.1397.8.32.6.0

روشنعلی، محمد و ذاکری، مهرداد. (۱۳۹۱). سنجش تناسب اراضی بر اساس عناصر اقلیمی برای کشت کلزا با استفاده از مدل TOPSIS در مازندران. *فصلنامه پژوهش‌های بوم شناسی شهری*، ۳ (۶)، ۶۷–۸۰. http://doi.org/20.1001.1.25383930.1391.3.6.5.3

سازمان هواشناسی کشور. (۱۳۹۹). اداره کل هواشناسی استان خوزستان. *ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی استان خوزستان*.

صیادی، چیمن؛ کرباسی، علیرضا؛ قربانی، محمد و صبوحی، محمود. (۱۳۹۷). بررسی اثر سیاست‌های حمایتی دولت در بازار برنج ایران. *هجدهمین همایش ملی برنج کشور، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری–پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان*. ۹۶۲–۹۵۱.

علیجانی، بهلول؛ پایداری، مریم؛ ناصرزاده، محمدحسین. (۱۳۹۸). تأثیر تغییر اقلیم بر وضعیت عملکرد برنج در شهرستان رشت. *علوم آب و خاک*، ۲۴ (۲)، ۴۱–۵۴. http://doi.org/10.47176/jwss.24.2.39601

لیموچی، کاوه؛ سیادت، عطاالله و گیلانی، عبدالعلی. (۱۳۹۲). بررسی اثر تاریخ های مختلف کاشت بر شاخص های رشد و عملکرد ارقام برنج در شمال خوزستان. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. *تولید گیاهان زراعی*، ۶(۲)، ۱۶۷–۱۸۴. http://doi.org/20.1001.1.2008739.1392.6.2.10.8

References

Abhilash, Chander, Sh. D., Raj, S., Premdeep, & Raman, Sh. (2017). Agrometeorological indices and phenology of basmati rice (Oryza sativa L.) under different dates of transplanting. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(3), 212–222. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.022

Ali, M. G., Naylor, R., & Matthews, S. (2006). Distinguishing the effects of genotype and seed physiological age on low temperature tolerance of rice (*Oryza sativa* L.). *Experimental Agriculture, 42*(3), 337–349. https://doi.org/10.1017/S0014479706003619

Alijani, B., Paydari, M., & Naserzadeh, M. H. (2019). The effect of climate change on the yield of rice in the Rasht County. *Water & Soil Sciences, 24*(2), 41–54. https://doi.org/10.47176/jwss.24.2.39601 [In Persian]

Anna, N. E. V., & Mannan, E. F. (2020). Big data adoption in academic libraries: A literature review. *Library Hi Tech News, 37*(4), 1–5. https://doi.org/10.1108/LHTN-11-2019-0079

Bazgeer, S. (1999). *Assessment of the climatic potential for rainfed wheat cultivation: A case study of Kurdistan Province* [Master's thesis, University of Tehran]. Faculty of Agriculture. [In Persian]

Bernaola, L., Cange, G., Way, M. O., Hardke, J., & Stout, M. (2018). Natural colonization of rice by arbuscular mycorrhizal fungi in different production areas. *Rice Science, 25*(3), 169–174. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.02.006

Boonwichai, S., Sangam, Sh., Mukand, S. B., Sutat, W., & Avishek, D. (2018). Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin, Thailand. *Science of the Total Environment, 652*, 189–201. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.201

Cox, C., & Tzoc, E. (2023). ChatGPT: Implications for academic libraries. *College and Research Libraries News, 84*(3), 99. https://doi.org/10.5860/crln.84.3.99

Eskandari, H., & Attar, S. (2015). Energy comparison of two rice cultivation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42*, 666–671. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.050

Iran Meteorological Organization. (2020). *Meteorological Department for Khuzestan Province: Geographical and climatic characteristics of Khuzestan Province*. [In Persian]

IRRI (International Rice Research Institute). (2002). *Rice almanac: Source book for the most important economic activity on Earth* (3rd ed.). IRRI.

Jain, S., & Jain, N. K. (2024). Improvements in fitting accuracy of Weibull distribution for wind data by capturing monthly and diurnal variability in wind speeds. *Journal of the Institution of Engineers (India), 105*(3), 607–615. https://doi.org/10.1007/s40032-024-01040-4

Ji, B., Sun, Y., Yang, S., & Wan, J. (2007). Artificial neural networks for rice yield prediction in mountainous regions. *Journal of Agricultural Science, 145*(3), 61–249. https://doi.org/10.1017/S0021859606006691

Jin, Z., Qian, C., Yang, J., Liu, H., & Jin, X. (2005). Effect of temperature at grain filling stage on activities of key enzymes related to starch synthesis and grain quality of rice. *Rice Science, 12*(4), 261–266.

Khoshhal Dastjerdi, J., & Mostafavi Darani, M. (2013). *Agricultural meteorology and climatology of field crops*. Elm Afarin Publishing. [In Persian]

Khush, G. S. (2005). What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. *Plant Molecular Biology, 59*(1), 1–6. https://doi.org/10.1007/s11103-005-2159-5

Limochi, K., Siadat, A. A., & Gilani, A. A. (2013). The effect of different planting dates on growth indexes and yield of rice cultivars at northern Khuzestan. *Crop Production, 6*(2), 167–184. https://doi.org/20.1001.1.2008739.1392.6.2.10.8 [In Persian]

Liu, L., & Liu, W. (2023). The engagement of academic libraries in open science: A systematic review. *Journal of Academic Librarianship, 49*(3), 102711. https://doi.org/10.1016/j.acalib.2023.102711

Liu, L. W., Lu, C. T., Wang, Y. M., Lin, K. H., Ma, X., & Lin, W. S. (2022). Rice (*Oryza sativa* L.) growth modeling based on Growth Degree Day (GDD) and artificial intelligence algorithms. *Agriculture, 12*(1), 1–11. https://doi.org/10.3390/agriculture12010059

Mohammadpour, K. V. (2016). Ethnic and traditional Iranian rice-based foods. *Journal of Ethnic Food, 3*(2), 124–134. https://doi.org/10.1016/j.jef.2016.05.002

Moral, F. J., Rebollo, F. J., Paniagua, L. L., Garcia, A., & De Salazar, E. M. (2016). Application of climatic indices to analyse viticultural suitability in Extremadura, south-western Spain. *Theoretical and Applied Climatology, 1123*, 277–289. https://doi.org/10.1007/s00704-014-1363-0

Pazhaveh, A., Bazgeer, S., & Mohammadi, H. (2023). Climatic potential of banana tree cultivation (Case study: Sistan and Baluchestan Province). *Recent Research in Sustainable Water Engineering*, *2*(1), 59–72. https://doi.org/10.22103/nrswe.2023.21072.1031 [In Persian]

Pourzeidi, A. M., Alijani, B., Saligheh, M., & Gerami, M. S. (2019). Spatial analysis of precipitation in Mazandaran Province. *Applied Researches in Geographical Sciences*, *19*(52), 1–20. https://doi.org/10.29252/jgs.19.52.1 [In Persian]

Ramazanipour, M. (2019). Predict the impact of climatic change on the agro-climatic indexes and rice yield case study: North of Iran. *The Regional Planning Journal*, *8*(32), 70–80. https://doi.org/20.1001.1.22516735.1397.8.32.6.0 [In Persian]

Roshanali, M., Marsoumi, N., & Zakeri, M. (2012). Land suitability evaluation Mazandaran Province model based on elements of the climate for the cultivation of rapeseed TOPSIS. *Urban Ecology Researches*, *3*(6), 67–80. https://doi.org/20.1001.1.25383930.1391.3.6.5.3 [In Persian]

Roy, R., & Chan, N. W. (2015). Determinants of sustainable irrigated and rainfed rice farming in Bangladesh. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *17*(6), 35–1421. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2015.17.6.4.5

Sabzalian, R., Noruzi, A. R., & Nazari, M. (2021). Study of customer journey map in electronic bookshops. *Academic Librarianship and Information Research*, *55*(4), 1–25. https://doi.org/10.22059/jlib.2022.340459.1599 [In Persian]

Sayadi, Ch., Karbasi, A. R., Ghorbani, M., & Sabouhi, M. (2019). Assessing the effects of government support policies on the rice market in Iran. *The 18th National Rice Conference of Iran*. Sari Agricultural Sciences & Natural Resources University. [In Persian]

Shahbaee Kotenaee, A., Foroumadi, M., & Ahmadi, O. (2018). Comparison and analysis of minimum, maximum temperature and precipitation cycles in Mazandaran Province (A case study: Ramsar and Babolsar synoptic stations). *Water and Soil Science*, *22*(3), 395–409. https://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.395 [In Persian]

Singh, S., Gupta, M. S., Thakur, N. P., & Lalichetti, S. (2020). Growth and yield of basmati rice under different crop establishment methods and sowing environment. *MAUSAM*, *72*(2), 425–434. https://doi.org/10.54302/mausam.v72i2.613

Sultana, A., Shaikh, N. Y., Zahan, M. S., Akter, R., Islam, S. A., & Issak, M. (2019). Agroclimatic indices of rice (*Oryza sativa* L.) influenced by different planting times. *Bangladesh Rice Journal*, *23*(2), 87–94. https://doi.org/10.3329/brj.v23i2.48251

The Ministry of Agriculture-Jahad. (2020). *Statistical report for the agricultural year (1999–2019)*. [In Persian]

Yan, Y., Stephen, C., Qingsong, T., & Fengxian, Y. (2022). Rice yield response to climate and price policy in high-latitude regions of China. *Food Security*, *14*(5), 1143–1157. https://doi.org/10.1007/s12571-021-01253-w

Zorar, P., & Gilanpour, O. (2009). Assessment of rice market regulation policies in Iran, comparison with selected countries, and recommendations for improving market regulation. *Commercial Surveys*, *38*(5), 1–18. [In Persian]