

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی

Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Khuzestan province using geographic information system and analytical hierarchy process

مریم سالمی‌نسب<sup>۱</sup>، احمد کوچک‌زاده<sup>۲</sup>، علی مشتقی<sup>۳</sup> و محمدرضا انصاری<sup>۴</sup>

### چکیده

سالمی‌نسب، م.، ا. کوچک‌زاده، ع. مشتقی و م.ر. انصاری. ۱۴۰۳. پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۲): ۲۲۳-۲۰۵.

این تحقیق به منظور پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی (اگرواکولوژیک) تولید گندم در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با هدف شناسایی بوم‌نظام‌های مناسب تولید گندم در استان خوزستان انجام شد. برای این منظور، لایه‌های مختلف اطلاعاتی مؤثر در رشد و تولید محصول گندم شامل عوامل اقلیمی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و مقدار بارندگی)، اطلاعات خاک‌شناسی (شوری، pH، محتوای کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و اطلاعات توپوگرافی (میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا) تهیه شدند. لایه‌های دما، لایه بارندگی و لایه‌های اطلاعات خاک‌شناسی با استفاده از روش‌های درون‌یابی تهیه شدند. پس از تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی، پهنه‌های مناسب زراعت گندم از طریق تطبیق نیازهای گیاه با ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و هم‌پوشانی لایه‌های مورد بررسی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که حدود ۳۸۰ هزار هکتار (۱۵/۹۴ درصد) از اراضی کشاورزی منطقه در دسته بسیار مناسب (۴)، حدود ۴۷۶ هزار هکتار (۱۹/۹۴ درصد) در دسته نسبتاً مناسب (۳)، حدود ۹۷۷ هزار هکتار (۴۰/۹۴ درصد) در دسته ضعیف (۲) و حدود ۵۵۳ هزار هکتار (۲۳/۱۷ درصد) در دسته نامناسب (۱) قرار گرفتند. بر اساس نقشه پهنه‌بندی استان؛ از جنوب به سمت شمال و از غرب به سمت شرق استان، مطلوبیت عوامل محیطی بیشتر بوده و اراضی بخش شمالی برای زراعت گندم مناسب‌تر و اراضی بخش جنوبی نامناسب‌تر بودند. از جنوب به سمت شمال استان، ارتفاع از سطح دریا، میزان بارش، شیب و حاصل‌خیزی خاک افزایش و میزان شوری خاک و دمای هوا کاهش داشتند. بر اساس نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که با اقداماتی مانند افزایش محتوای کربن آلی و بهبود حاصل‌خیزی خاک، آشوبی و زه‌کشی اراضی شور، تناوب زراعی، استفاده از ارقام متحمل به تنش‌های محیطی و استفاده از روش‌های نوین آبیاری در استان، می‌توان شرایط تولید گندم را بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، توان بوم‌شناختی زراعی، توپوگرافی، دسته‌بندی، شوری خاک و گندم

## Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Khuzestan province using geographic information system and analytical hierarchy process

Saleminasab. M.<sup>1</sup>, Koochekzadah, A.<sup>2</sup>, Moshatati, A.<sup>3</sup> and Ansari, M.R.<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Saleminasab. M., Koochekzadah, A., Moshatati, A. and Ansari, M.R. 2025. Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Khuzestan province using geographic information system and analytical hierarchy process. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 26(2): 205-223. (In Persian).

**Introduction:** During the past few decades, only a quarter of the increase in food production in the world was related to the expansion of the area under cultivation and the rest was achieved by improving the production per unit area. In today's era, due to the limited resources and the increasing population has resulted the increasing demand for food products. Thus, it is necessary to use the limited resources available in an optimal way. Agroecological zoning is considered as a necessary tool in agricultural planning. By combining the main and effective components of agriculture, it is possible to comprehensively examine the conditions of production and the environmental potentials and limitations are better investigated. Therefore, decision-makers in the agriculture sector have a comprehensive and complete road-map instead of single and scattered one, for making the right decisions (Ghaffari *et al.*, 2012). Considering the special position of wheat in the production systems of the country, it is necessary to implement crop-specific research projects to enhance sustainable crop production and proper utilization of resources and to protect the environment.

**Materials and Methods:** This research is based on the application of geographic information system (GIS) to depict the suitable crops for wheat production in Khuzestan province, Iran. For this purpose, different layers of effective information on the growth and production of wheat including; topographical information (elevation above sea level, slope and slope direction), soil data (salinity, organic carbon, pH, nitrogen, phosphorus and potassium contents) and climatic parameters (minimum temperature, mean temperature and maximum temperature and rainfall) were determined using the analytical hierarchy process (AHP), weighted and overlapped, and the cultivation areas were estimated. Temperature layers were prepared using regression equations and nearest neighbor interpolation methods, and rainfall layer after examining different interpolation methods and choosing the appropriate method. Then, the suitable areas for wheat production were determined by matching the needs of this plant with the characteristics of the studied area by using the principles of analytical hierarchy process and the overlap of the studied layers.

**Results:** In this research, different climatic, soil parameters and topography factors and the opinion of agriculture experts of Khuzestan province in the form of AHP questionnaires were used to determine suitable and unsuitable areas for wheat production and four categories were identified.

**Conclusion:** According to the results of this research, it can be concluded that in the relatively poor and poor lands in the south, southwest and west of the Khuzestan province, it is possible to improve the quality of the soil by carrying out a series of research and measures. Considering the restrictions in these areas, some measures such as increasing soil organic carbon and improving soil fertility, leaching and draining saline soils, setting appropriate crop rotations, using adapted cultivars tolerant to prevailed environmental stresses, increasing water productivity by modern irrigation methods can be recommended to improve the environmental conditions for production of wheat in these areas.

**Key words:** Agroecologic capacity, Climate, Classification, Soil salinity, Topography and Wheat

Received: July, 2024

Accepted: September, 2024

1. Former PhD Student, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2. Associate Prof., Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(Corresponding author, ✉ koochekzadeh@asnrukh.ac.ir)

3. Associate Prof., Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

4. Assistant Prof., Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

## مقدمه

با توجه به محدودیت منابع و افزایش روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای محصولات غذایی، از جمله گندم، استفاده بهینه از منابع محدود فعلی ضروری است. گندم یک گیاه زراعی راهبردی و اساسی در کل کشورهای دنیا و یکی از منابع مهم در سبد غذایی مردم ایران بوده و تامین کننده قسمت اعظم کالری و پروتئین مورد نیاز افراد جامعه است (Kamali *et al.*, 2008). جمعیت ایران تنها یک درصد از جمعیت کل جهان است، اما ۲/۵ درصد از کل گندم جهان در ایران مصرف می شود. مصرف سرانه گندم در ایران حدود ۱۳۵ کیلوگرم است که بخش عمده آن به صورت نان مصرف می شود. میانگین مصرف سرانه جهانی گندم ۶۸ کیلوگرم است. به این ترتیب ایران در ردیف کشورهای پرمصرف گندم قرار داشته و نیاز به تولید بیشتر گندم در ایران یک ضرورت محسوب می شود.

پهنه بندی بوم شناختی زراعی (اگرواکولوژیک)، یک ابزار ضروری در برنامه ریزی کشاورزی است. با تلفیق اجزای اصلی و مؤثر کشاورزی، امکان بررسی همه جانبه شرایط تولید و شناسایی بهتر پتانسیل ها و محدودیت های محیطی فراهم می شود. بر این اساس تصمیم گیرندگان بخش کشاورزی می توانند با در دست داشتن یک نقشه جامع و کامل به جای نقشه های مجزا و پراکنده، تصمیمات مناسب تری اتخاذ کنند. پهنه بندی زراعی بوم شناختی شامل چهار مرحله اصلی تلفیق داده ها و اطلاعات موجود، تولید اطلاعات جدید بر اساس هدف مورد نظر، ارزیابی پتانسیل تولید و برنامه ریزی برای استفاده از اراضی است. در این روش یک پایگاه اطلاعاتی جامع ایجاد می شود که بر اساس آن می توان اقدام به برنامه ریزی انطباق فعالیت های زراعی با شرایط بوم شناختی موجود در هر منطقه نمود (Ghaffari *et al.*, 2012). با استفاده از این روش، مناطق مناسب برای زراعت گیاهان مشخص شده و از کشت گیاهانی که در مناطقی کارایی کمی دارند، اجتناب

می شود (Sanjani, 2012).

نتایج حاصل از تهیه لایه های اطلاعاتی بوم شناختی زراعی بر مبنای وزن دهی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه مارون استان خوزستان نشان داد که ۷/۴ درصد از این منطقه برای زراعت گندم و کلزا بسیار مناسب و ۹/۸ درصد نسبتاً مناسب هستند (Heidarpour *et al.*, 2018). مصدقی و همکاران (Mosadeghi *et al.*, 2020) با پهنه بندی بوم شناختی نظام تولید گندم در دشت شاور استان خوزستان گزارش کردند که حدود ۴۲ درصد از اراضی در دسته نسبتاً مناسب و ۵۸ درصد در دسته ضعیف قرار داشتند و پتانسیل تولیدی مزارع گندم در بوم نظام های مختلف بین ۲/۵ تا ۴/۴ تن در هکتار متغیر بود. میکانیکی و همکاران (Mikaniki *et al.*, 2013) با استفاده از عناصر و عوامل اقلیمی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، شهرستان ایذه در استان خوزستان را برای کلزا پهنه بندی کردند. بر اساس نتایج آنها از ۳۷۷۹/۳۹ کیلومتر مربع مساحت شهرستان ایذه، طبقه بسیار مناسب این نقشه ۵۶۵/۱۵۹۷۷ کیلومتر مربع (معادل ۱۴/۹۵ درصد) و طبقه دوم یعنی مناسب ۹۶۳/۱۵۹۹ کیلومتر مربع (معادل ۲۵/۴۸ درصد) مساحت منطقه بود. نتایج ارزیابی تناسب زراعت گندم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و فرآیند تحلیل شبکه ای در حوزه قره سوی شهرستان گرگان نشان داد که نیازهای دمایی گندم در حوزه قره سو دامنه تغییرات زیادی ندارد و بر این اساس دماهای کمینه و بیشینه بر اساس جدول نیازمندی این گیاه در دسته بسیار مناسب و دمای میانگین در دسته نسبتاً مناسب قرار گرفتند. بارش نیز از سمت شمال به جنوب استان گلستان روند افزایشی داشت که در حوزه قره سو نیز این مطلب صادق بود. بر این اساس تغییرات بارندگی در این مناطق به شرایط پستی و بلندی منطقه و نزدیکی یا دوری از دریا نسبت داده شد (Badsar *et al.*, 2018).

عساکره و مازینی (Asakereh and Mazini, 2010) گزارش کردند که در استان گلستان با افزایش ارتفاع از سطح دریا، میزان بارش نیز افزایشی داشت و نقش ارتفاع در میزان بارندگی بیش از طول و عرض جغرافیایی بود. علیجانی و همکاران (Alijani et al., 2011) با بررسی اثر بارش و دما بر عملکرد گندم آبی در استان گلستان اظهار داشتند که میزان بارندگی بر عملکرد گندم اثر مثبت داشته و اثر کاهش بارندگی بر عملکرد دانه بیشتر از افزایش دمای هوا بود. گزارش شده است که میزان شیب، بیشترین اثر را بر عملکرد گندم پاییزه داشته و با عملکرد دانه گندم همبستگی منفی دارد (Slimangli et al., 2012). ارتفاع از سطح دریا نیز نقش مهمی در تنوع اقلیم و نوع زراعت دارد. ارتفاع از یک سو با اثرگذاری بر میزان بارش و از سوی دیگر با اثر مستقیم بر دما، نقش مهمی در توسعه و یا محدودیت کشت ایفا می‌کند. در نیمکره شمالی در عرض‌های میانی، دامنه‌های جنوب شرقی تا جنوب غربی، به دلیل دریافت انرژی بیشتر خورشیدی، گرم‌ترین دامنه‌ها هستند. با توجه به اینکه شیب‌های جنوبی و شرقی بهترین مکان برای رویش گیاه هستند، در فرآیند پهنه‌بندی رتبه برتر به این دو جهت اختصاص داده می‌شود (Feizizadeh et al., 2012). فکادو و همکاران (Fekadu et al., 2020) با استفاده از اطلاعات اقلیمی، خاک، توپوگرافی و سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، به پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعت گندم و جو در اتیوپی اقدام کردند. نقشه خروجی نهایی نشان داد که ۸۳/۲۱ درصد (۱۷/۱۹۴۵ هکتار) از اراضی منطقه مورد مطالعه نسبتاً مناسب و ۱۶/۷۹ درصد (۵۲/۳۹۲ هکتار) مناسب بودند. از ادغام فرایند تحلیل سلسله مراتبی با سامانه اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی تناسب اراضی کشت گندم در حوضه توزانی ترکیه استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که اراضی بسیار مناسب، متوسط و مناسب برای زراعت گندم به ترتیب ۲/۶۳، ۹/۸۵ و ۳۲/۵۹ درصد از سطح

منطقه مورد مطالعه را شامل بودند و ۵۴/۹۲ درصد از سطح اراضی برای زراعت گندم نامناسب تشخیص داده شد. ادغام این دو روش برای ارزیابی دقیق تناسب اراضی و برنامه‌ریزی برای تولید محصولات خاص و کاهش اثرات منفی زیست محیطی فعالیت‌های کشاورزی، مناسب تشخیص داده شد (Kilic et al., 2022). ارزیابی تناسب اراضی کشاورزی با تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی و رویکرد زمین آماری در ترکیه نشان داد که ۲۵/۷ درصد (۳/۲۲۶ کیلومتر مربع) از اراضی مورد ارزیابی بسیار مناسب، ۲۷/۶ درصد (۳/۴۵۷ کیلومتر مربع) نسبتاً مناسب و ۱۹/۵ درصد (۲/۴۴۰ کیلومتر مربع) برای زراعت گندم مناسب بودند و ۲۷/۲ درصد (۳/۴۱۵ کیلومتر مربع) از اراضی برای تولید محصولات کشاورزی مناسب نبود (Tugac et al., 2023).

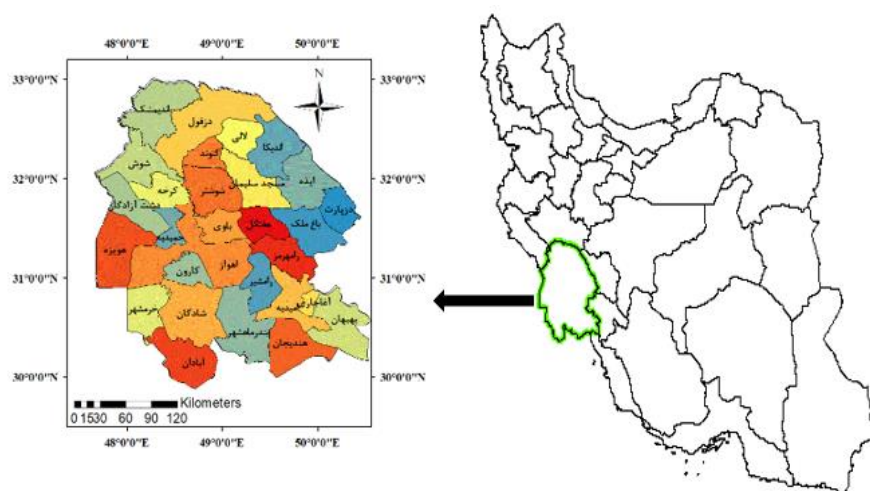
شناسایی استعداد و توان اراضی یک منطقه برای کاربری‌های مختلف کشاورزی با در نظر گرفتن حفظ منابع محیطی و تولید پایدار محصولات کشاورزی ضروری است. با توجه به جایگاه نخست استان خوزستان از نظر سطح زیر کشت و تولید گندم (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰) و با توجه به اینکه در تحقیقات قبلی عمدتاً بر روش‌های اقلیمی و برآورد کیفی تمرکز شده بود، تحقیق حاضر به منظور پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی گندم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) در خوزستان، با هدف شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های منابع مرتبط با زراعت گندم و دستیابی به پایداری سیستم‌های تولید انجام شد.

### مواد و روش‌ها

استان خوزستان در جنوب غربی ایران قرار دارد. مساحت این استان ۶۴۰۷۵ کیلومتر مربع و با جمعیت

دهستان مسکونی دارد. مرکز استان خوزستان، شهر اهواز و شهرستان های استان شامل آبادان، آغاجاری، امیدیه، اندیکا، اندیمشک، اهواز، ایذه، باغ ملک، باوی، بهبهان، بندر ماهشهر، حمیدیه، خرمشهر، دزپارت، دزفول، دشت آزادگان، رامهرمز، رامشیر، شادگان، شوش، شوشتر، کارون، کرخه، گتوند، لالی، مسجدسلیمان، هفتگل، هندیجان و هویزه هستند (شکل ۱).

۴/۷۱۰/۵۰۹ نفر (۱۳۹۵)، پنجمین استان پرجمعیت کشور است. استان خوزستان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است. بر اساس تقسیمات کشوری سال ۱۴۰۰، این استان ۲۹ شهرستان، ۷۰ بخش، ۸۸ شهر و ۱۴۶



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان)

Fig. 1. Location of the study area (Khuzestan province, Iran)

اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش شامل داده های اقلیمی، خاک، توپوگرافی و گیاهی بودند. جهت محاسبه و ارزیابی شاخص های اقلیمی کشاورزی از متغیرهای هواشناسی طولانی مدت ۳۰ ساله (۱۴۰۱-۱۳۷۱) از ۲۰ ایستگاه سینوپتیک و ۶۰ ایستگاه کليما-تولوژی و باران سنجی استان خوزستان استفاده شد. عوامل اقلیمی مورد استفاده شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و میزان بارش روزانه بودند. برای ارزیابی ویژگی های خاک نظام های تولید استان خوزستان و تهیه نقشه خاک، از مطالعات نیمه تفصیلی دقیق خاکشناسی و طبقه بندی اراضی شبکه های آبیاری و زه کشی استان خوزستان که توسط سازمان جهاد کشاورزی، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، سازمان

استان خوزستان یکی از استان های مهم تولید کننده محصولات کشاورزی کشور است. طبق آمارنامه کشاورزی (محصولات زراعی) وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، میزان تولید گندم آبی کشور حدود ۸/۸۱ میلیون تن، معادل ۱۱/۱۸ درصد از کل تولید محصولات زراعی آبی بوده که استان های خوزستان با سهم ۱۷/۸۳ درصد، فارس با سهم ۱۰/۵۶ درصد، خراسان رضوی با سهم ۸/۵۴ درصد، کرمانشاه با سهم ۶/۳۱ درصد و گلستان با سهم ۶/۰۹ درصد در رتبه های اول تا پنجم تولید کنندگان گندم آبی کشور قرار داشتند. در این پنج استان جمعا حدود ۴۹/۳۴ درصد از کل تولید گندم آبی کشور تولید شد (Ashraf Jahani, 2021).

SPSS و حذف نقاط پرت، داده‌های مورد نظر انتخاب شدند. برای تهیه نقشه ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model; DEM) ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه استفاده شد. اطلاعات اقلیمی، خاکی و توپوگرافی و درجه تناسب آن‌ها برای زراعت گندم در جدول ۱ ارائه شده است (Kazemi et al., 2016; Sys et al., 1993).

آب و برق استان خوزستان انجام شده است، استفاده شد (Mosadeghi et al., 2020). این اطلاعات شامل هدایت الکتریکی، pH، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک بودند. فواصل نقاط به صورت شبکه‌ای نامنظم و تصادفی در سطح استان خوزستان انتخاب شدند. تعداد کل نقاط عوامل خاکی ۱۵۳۵ نقطه بود. پس از بررسی آماری اولیه داده‌ها با نرم‌افزار

جدول ۱- درجه تناسب عوامل اقلیمی، خاکی و توپوگرافی برای زراعت گندم

Table 1. Degree of suitability of climatic, soil and topographical factors for wheat production

| Factor                             | عامل               | بسیار مناسب<br>Very suitable (S <sub>1</sub> )    | نسبتاً مناسب<br>Moderate (S <sub>2</sub> ) | ضعیف<br>Poor (S <sub>3</sub> )         | نامناسب<br>Not suitable (N) |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| Rainfall (mm)                      | بارندگی            | >400                                              | 300-400                                    | 200-300                                | <200                        |
| Min. temp. (°C)                    | دمای حداقل         | 10-15                                             | 7-10                                       | 4-7                                    | <4                          |
| Mean temp. (°C)                    | دمای میانگین       | 16-20                                             | 12-16, 20-24                               | 8-12, 24-30                            | <8, >30                     |
| Max. temp. (°C)                    | دمای حداکثر        | 20-25                                             | 25-30                                      | 30-37                                  | >37                         |
| EC (dS.m <sup>-1</sup> )           | هدایت الکتریکی     | 0-4                                               | 4-8                                        | 8-12                                   | >12                         |
| pH                                 | اسیدیته            | 6.5-7.5                                           | 5.5-6.5, 7.5-8.5                           | 5-5.5                                  | <5.5                        |
| O.C. (%)                           | کربن آلی           | >1.5                                              | 0.8-1.5                                    | 0.4-0.8                                | <0.4                        |
| Total N (%)                        | نیتروژن کل         | >1                                                | 0.7-1                                      | 0.5-0.7                                | <0.5                        |
| Available P (mg.kg <sup>-1</sup> ) | فسفر قابل دسترس    | 10-12                                             | 7-10, 12-15                                | 5-7, 15-18                             | <5, >18                     |
| Available K (mg.kg <sup>-1</sup> ) | پتاسیم قابل دسترس  | 200-250                                           | 150-200, 250-300                           | 100-150                                | <100                        |
| Height ASL. (m)                    | ارتفاع از سطح دریا | 0-1000                                            | 1000-2000                                  | 2000-3000                              | >3000                       |
| Slope (%)                          | شیب                | 0-4                                               | 4-8                                        | 8-12                                   | >12                         |
| Slope direction                    | جهت شیب            | جنوبی، جنوب‌ش، بدون جهت<br>South, Southeast, Flat | شرقی، شمال‌ش<br>East-Northeast             | جنوب‌خ، شمال‌خ<br>Southwest, Northwest | غربی، شمالی<br>West-North   |

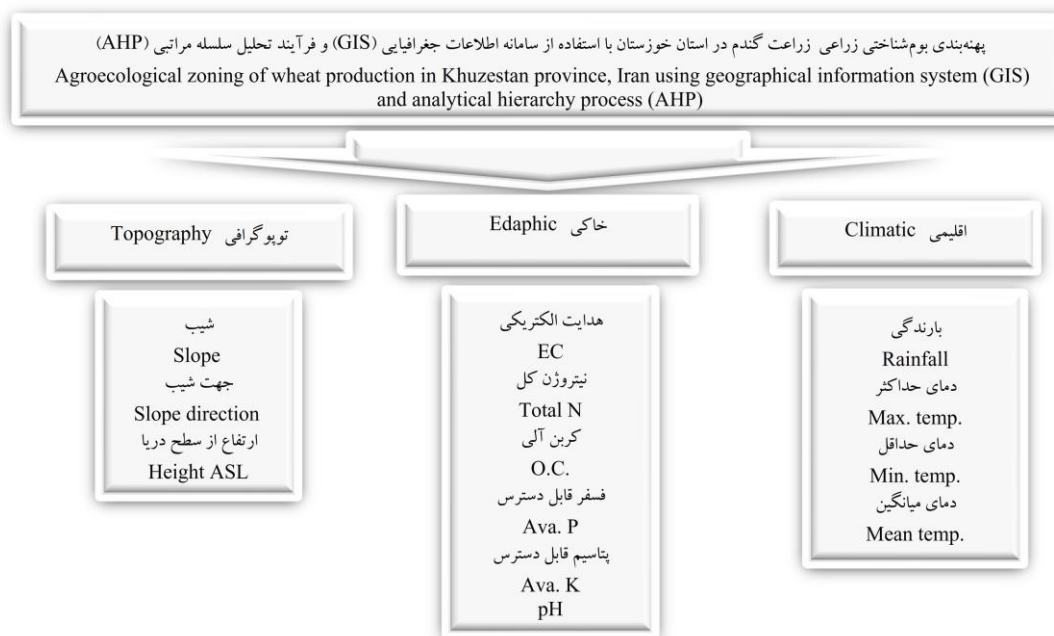
kriging) انتخاب شد. لایه مربوط به بارندگی نیز پس از بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی (روش وزن‌دهی فاصله معکوس، کریجینگ و کوکریجینگ) در محیط جی‌آی‌اس درون‌یابی شده و روش کوکریجینگ به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی انتخاب شد. مبنای انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و مقدار ضریب تبیین (CD) بودند. هر چه مقدار جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کمتر و ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، دقت و صحت روش بالاتر بوده و از همان روش به عنوان بهترین روش درون‌یابی استفاده شد.

مقادیر عوامل اقلیمی مورد نیاز (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، و میزان بارندگی) فقط برای برخی ایستگاه‌های شهرستان‌های استان موجود بودند که تنها به صورت نقاط قابل استناد بوده و برای پهنه‌بندی قابل استفاده نیستند، بنابراین ابتدا با استفاده از این نقاط معلوم، نقاط مجهول در محیط جی‌آی‌اس درون‌یابی شده و نقشه پهنه‌بندی عوامل اقلیمی منطقه مورد نظر رسم شد. برای رسم نقشه‌های رقومی عوامل اقلیمی از نرم‌افزار ArcGIS10.8 استفاده شد. لایه‌های دما با استفاده از معادلات رگرسیونی و روش‌های درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی (Nearest neighbor) در محیط جی‌آی‌اس درون‌یابی شده و در نهایت روش کوکریجینگ (Co-

برای رسم نقشه‌های رقومی ویژگی‌های خاک (شوری، کربن آلی، pH، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم) از بین سه روش مختلف درونیابی کریجینگ، وزن دهی فاصله معکوس و توابع پایه شعاعی، با توجه به شاخص‌های ارزیابی آماری، روش درونیابی کریجینگ انتخاب شد. لایه‌های عوامل توپوگرافی شامل میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریای محدوده مورد مطالعه بودند. پس از استخراج مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با مقیاس یا بزرگ‌نمایی ۳۰ متر، محدوده مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی سه بعدی و اصلاح خطاهای بزرگ و کوچک آن در محیط جی‌آی‌اس تهیه و بر اساس طبقه‌بندی نیازمندی‌های گیاه گندم (جدول ۱) دسته‌بندی انجام و مساحت هر طبقه محاسبه شد. به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد زراعت گندم، انطباق ویژگی‌ها و نیازهای بوم‌شناختی گیاه زراعی با شرایط محیطی منطقه مورد نیاز است. برای این کار ابتدا نیازهای بوم‌شناختی و زراعی گندم با استفاده از منابع موجود تعیین شد (جدول ۱). پس از آن درجه‌بندی (دسته‌بندی) آن‌ها در چهار طبقه بسیار مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب انجام شد. بر اساس متغیرهای این جدول، ۱۳ لایه اطلاعاتی مورد نیاز در محیط ArcGIS تهیه شد. این لایه‌ها عبارت بودند از دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، بارندگی، شوری خاک، کربن آلی، pH، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب. پس از تهیه این لایه‌ها، طبقه‌بندی و رتبه‌بندی هر لایه بر اساس دسته‌بندی در محیط جی‌آی‌اس و طبق جدول نیازهای محیطی گیاه در چهار دسته (بسیار مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب) انجام شد، بدین ترتیب که برای شرایط بسیار مناسب عدد ۴، شرایط نسبتاً مناسب عدد ۳، شرایط ضعیف عدد ۲ و شرایط نامناسب عدد ۱ در نظر گرفته شد. به‌منظور وزن‌دهی به معیارها با فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ابتدا یافتن نواحی مستعد زراعت گندم، به صورت درخت سلسله مراتبی که شامل عناصر

تصمیم‌گیری جدول ۱ است، مورد نظر قرار داده شد. در سطح اول، هدف اصلی، در سطح دوم، معیارهای اصلی موثر در زراعت گندم (اقلیم، خاک و توپوگرافی) و در سطح سوم، زیر شاخه‌ها یا زیرمعیارهای هر کدام از عوامل سطح دوم (۱۳ عامل) دسته‌بندی شدند (شکل ۲). برای جمع‌آوری داده‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد. برای رسیدن به وزن نرمال هر کدام از عوامل، وزن هر معیار در زیرمعیار آن ضرب شد و سپس جمع کلیه اعداد بدست آمده و تک تک اعداد بر مجموع آن‌ها تقسیم شد. اعداد بدست آمده، وزن‌های نرمال بوده و آماده ورود به بانک اطلاعات جی‌آی‌اس و رسم نقشه نهایی مکان‌های مناسب برای زراعت گندم در استان خوزستان هستند (Kazemi, 2016).

برای جمع‌آوری داده‌های تحلیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد. این پرسش‌نامه‌ها حاوی مقایسات مشترک برای کلیه عوامل موثر در مکان‌یابی بودند که توسط ۳۰ متخصص رشته زراعت تکمیل شدند. پرسشنامه با استفاده از نظرات محققان زراعت، خاکشناسی، آبیاری، ترویج و آموزش کشاورزی و سایر متخصصین تنظیم و پس از چند مرحله اصلاح و بازنگری، تایید شد. پس از توزیع پرسشنامه‌ها در بین کارشناسان خبره زراعت شاغل در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان خوزستان، ناظران طرح کشت گندم و استادان دانشگاه‌ها، قضاوت‌های مقایسه زوجی ساده‌ای از طریق سلسله مراتب ایجاد شده برای تمامی معیارها و زیرمعیارها انجام شد. پس از تکمیل جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، تعیین وزن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice 11 انجام شد. مقایسه‌های زوجی در قالب ماتریس‌های مقایسات زوجی و بر اساس دامنه ۹ قسمتی انجام شد انجام شد (Saaty, 1999) (جدول ۲). باید توجه داشت که مقدار نرخ ناسازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد که در این تحقیق مقدار آن ۰/۰۵ بود.



شکل ۲- نمودار سلسله مراتبی عوامل موثر در زراعت گندم در اراضی کشاورزی استان خوزستان

Fig. 2. Hierarchical tree of factors affecting wheat production in arable lands of Khuzestan province, Iran

جدول ۲- مقادیر ارزش ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

Table 2. Values of preferences for pairwise comparisons

| Quality class                           | ارزش          | دسته‌بندی کیفی                                    |
|-----------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------|
| Absolutely preferred                    | 9             | کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر |
| Very strong preference                  | 7             | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت بسیار قوی               |
| Strong preference                       | 5             | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی                     |
| A little preferred                      | 3             | کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر            |
| Equal preference                        | 1             | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان                   |
| Preferences between the above intervals | 2, 4, 6 and 8 | ترجیحات بین فواصل فوق                             |

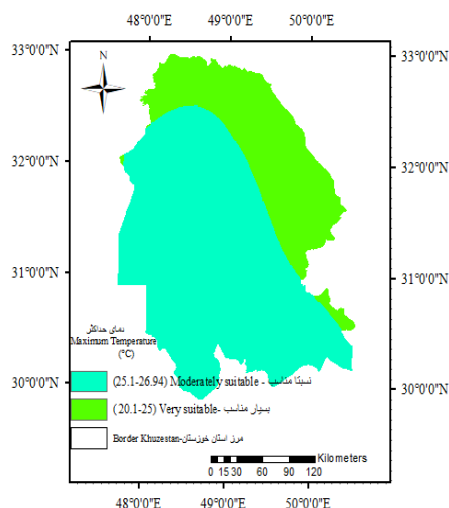
## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که نیازهای دمایی گندم در استان خوزستان دامنه تغییرات زیادی نداشت و بر این اساس دماهای حداقل، حداکثر و میانگین در طبقه‌بندی بر اساس جدول ۱ در دو دسته بسیار مناسب ( $S_1$ ) و نسبتاً مناسب ( $S_2$ ) قرار گرفتند، اما میزان بارندگی نوسان‌های مکانی زیادی داشت، به‌طوری که میزان بارش در چهار دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) قرار گرفت. دمای حداقل در بخش میانی و جنوبی استان در دسته بسیار مناسب، در بخش شمال شرقی استان در دسته نسبتاً مناسب قرار داشت.

تعداد ۱۳ لایه تهیه شده زیر معیارهای اقلیمی، خاک و توپوگرافی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، بارندگی، شوری، کربن آلی، pH، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، خاک، ارتفاع از سطح دریا، میزان شیب و جهت شیب) دسته‌بندی شده، در وزن نرمال شده مربوط به همان لایه ضرب و با هم جمع و در نهایت هم‌پوشانی ۱۳ لایه انجام شد. لایه نهایی که همان لایه پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعت گندم در استان است در چهار پهنه (بسیار مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب)، بر مبنای انطباق نیازهای گیاه با عوامل محیطی (جدول ۱) طبقه‌بندی شدند.

مناسب قرار گرفت. میزان بارندگی از بخش جنوبی و غرب به سمت شمال و شرق استان روند افزایشی داشت، به طوری که دسته بسیار مناسب مربوط به بخش شمال استان و دسته نامناسب به بخش جنوبی استان بودند (شکل های ۳، ۴، ۵ و ۶).

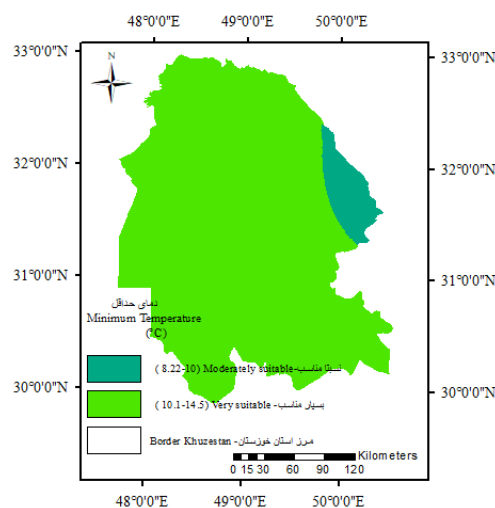
دمای میانگین در بخش شمال شرقی، میانی و بخشی از جنوب استان در دسته نسبتا مناسب و در بخش هایی از جنوب شرقی، شمال و غرب در دسته بسیار مناسب قرار گرفت. دمای حداکثر در بخش شمال و شرق استان در دسته بسیار مناسب و بخش جنوبی و میانی در دسته نسبتا



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی دمای حداکثر در استان

خوزستان

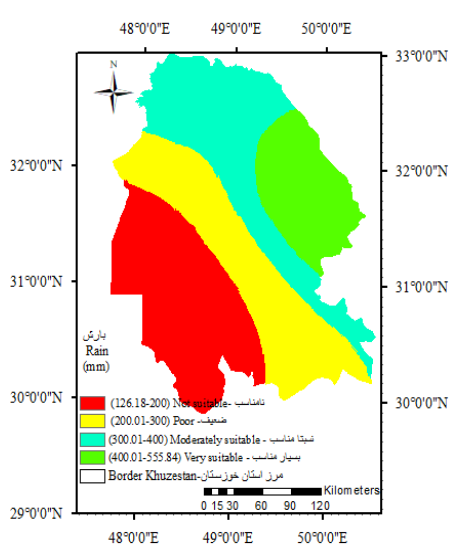
Fig. 4. Map of spatial distribution of maximum temperature in Khuzestan province



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی دمای حداقل در استان

خوزستان

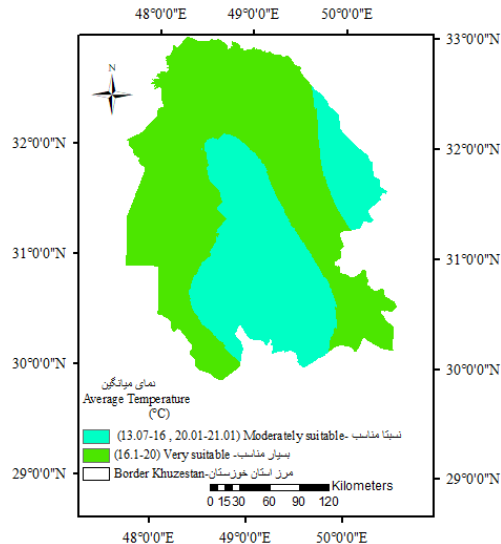
Fig. 3 Map of spatial distribution of minimum temperature in Khuzestan province



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی میزان بارندگی در استان

خوزستان

Fig. 6. Map of spatial distribution of rainfall in Khuzestan province



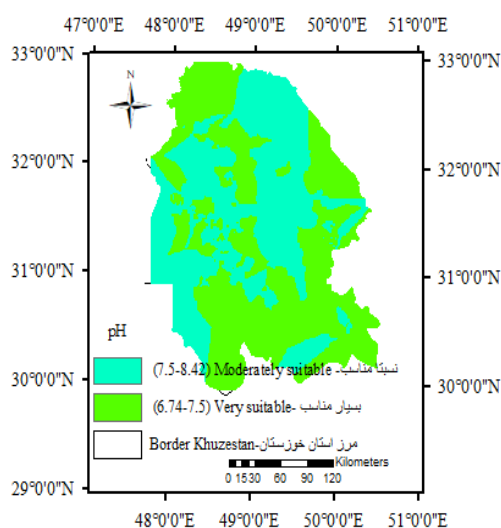
شکل ۵- نقشه توزیع مکانی دمای میانگین در استان

خوزستان

Fig. 5. Map of spatial distribution of Mean temperature in Khuzestan province

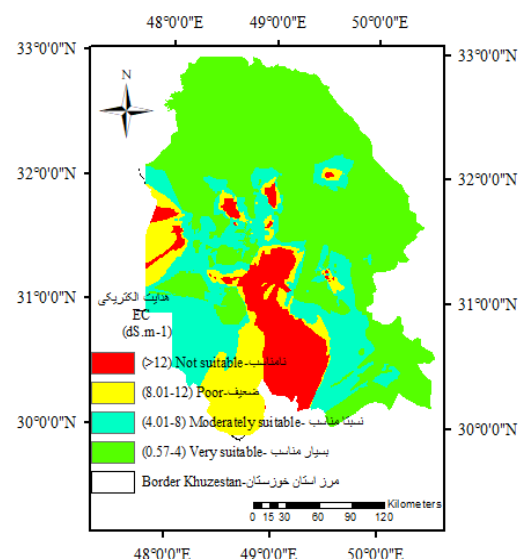
کشت گندم مشاهده نشد. بر اساس نتایج، pH خاک در دو دسته بسیار مناسب ( $S_1$ ) و نسبتاً مناسب ( $S_2$ ) قرار گرفت (شکل ۸). گزارش شده است که در بیش از ۹۷ درصد خاک‌های کشور pH خاک بین ۶/۵ تا ۸/۵ است (Shahbazi and Basharati, 2013). میزان کربن آلی خاک در سه دسته نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) دسته‌بندی شد (شکل ۸). بر اساس نقشه، اکثر خاک‌های زراعی استان از نظر محتوای کربن آلی در دسته ضعیف قرار دارند (شکل ۹). محتوای نیتروژن خاک در دو دسته ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) قرار داشت (شکل ۱۰). این نتایج نشان می‌دهد که خاک‌های استان خوزستان از نظر محتوای نیتروژن در شرایط مناسبی قرار ندارند. بر اساس نتایج محتوای فسفر خاک در چهار دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) قرار داشت (شکل ۱۱). محتوای پتاسیم خاک نیز در سه دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ ) و ضعیف ( $S_3$ ) قرار داشت (شکل ۱۲).

بر اساس دسته‌بندی عوامل خاکی و تناسب آن‌ها با زراعت گندم، میزان شوری خاک در چهار دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) طبقه‌بندی شد (شکل ۷). بخش‌های جنوبی استان دارای بیشترین میزان شوری خاک بوده و در دسته نامناسب قرار گرفت. در بخش‌های مرتفع و سمت شمال استان، شوری خاک کمتر بود. در رابطه با آستانه تحمل به شوری در گیاهان زراعی باید در نظر داشت که عواملی مانند ترکیبات نمکی یا نوع نمک، محتوای آب خاک، موجودات زنده خاک، شرایط فیزیکی خاک، توزیع نمک در پروفیل خاک، حاصل‌خیزی خاک، اقلیم، روش تهیه بستر، مرحله رشدی گیاه و نوع رقم بر آن تاثیر دارند (Badsar et al., 2018). تحمل به شوری گندم تابع عوامل اقلیمی است و در مناطقی که از لحاظ شوری خاک محدودیت دارند، می‌توان با عملیات مدیریتی در جهت کاهش اثر منفی شوری، عملکرد مناسبی را به دست آورد (Ranjbar and Banakar, 2011). برای pH خاک محدودیتی جهت



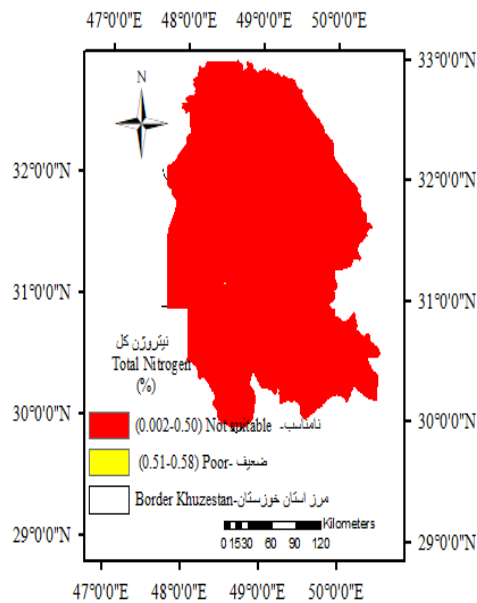
شکل ۸- نقشه pH خاک در استان خوزستان

Fig. 8. Map of soil pH in Khuzestan province



شکل ۷- نقشه هدایت الکتریکی خاک در استان خوزستان

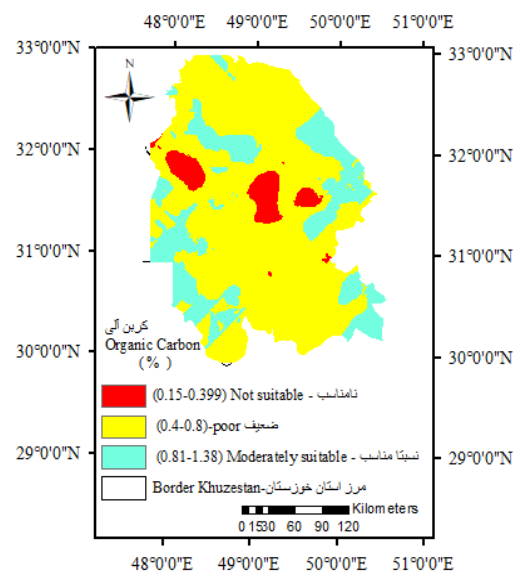
Fig. 7. Map of soil EC in Khuzestan province



شکل ۱۰- نقشه محتوای نیتروژن خاک در استان

خوزستان

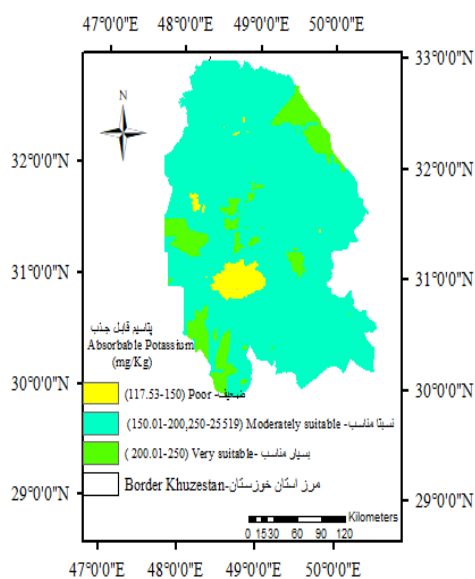
Fig. 10. Map of soil nitrogen content in Khuzestan province



شکل ۹- نقشه محتوای کربن آلی خاک در استان

خوزستان

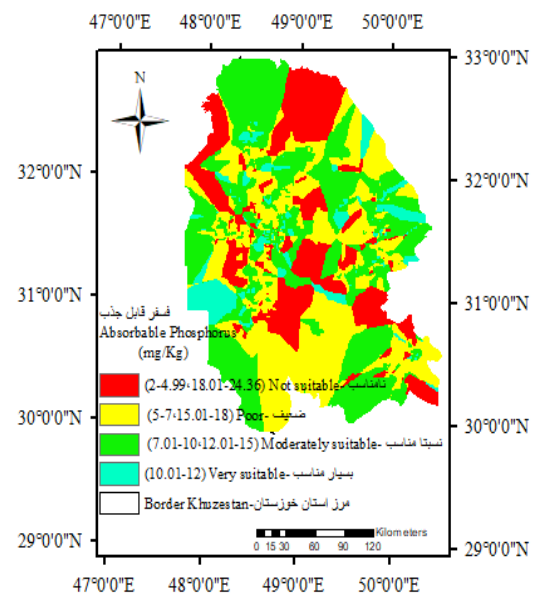
Fig. 9. Map of soil organic carbon content in Khuzestan province



شکل ۱۲- نقشه پتاسیم قابل دسترس خاک در استان

خوزستان

Fig. 12. Map of soil available potassium content in Khuzestan province



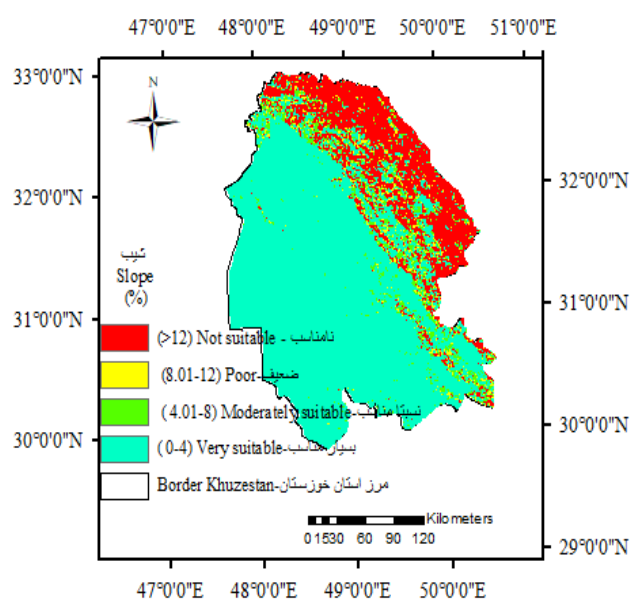
شکل ۱۱- نقشه فسفر قابل دسترس خاک در استان

خوزستان

Fig. 11. Map of soil available phosphorus content in Khuzestan province

برای زراعت گندم محسوب می‌شود. جهت شیب در چهار دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) قرار گرفت (شکل ۱۴). بر اساس نقشه دسته‌بندی، استان خوزستان از نظر جهت شیب محدودیتی ندارد. طبق نیازمندی‌های توپوگرافی و درجه تناسب آن‌ها برای زراعت گندم (جدول ۱)، دسته بسیار مناسب ارتفاع جهت زراعت گندم در محدوده صفر تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. بر اساس نقشه دسته‌بندی ارتفاع، این عامل در چهار دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) قرار گرفت (شکل ۱۵)، به گونه‌ای که از جنوب به سمت شمال استان، ارتفاع افزایش یافت. دسته بسیار مناسب ارتفاع در بخش میانی و غرب استان قرار دارد.

بر اساس نتایج میزان شیب اراضی در چهار دسته بسیار مناسب ( $S_1$ )، نسبتاً مناسب ( $S_2$ )، ضعیف ( $S_3$ ) و نامناسب (N) قرار گرفت (شکل ۱۳). نقشه توزیع مکانی شیب اراضی نشان داد که از سمت جنوب و غرب استان به سمت شمال و شرق استان، با افزایش ارتفاع، میزان شیب افزایش داشت. بر اساس اطلاعات جدول ۱، مناسب‌ترین میزان شیب جهت زراعت گندم در محدوده صفر تا چهار درصد است. نتایج حاصل از نقشه دسته‌بندی میزان شیب نیز نشان داد که دسته بسیار مناسب در بخش جنوبی استان قرار داشته و با افزایش ارتفاع، میزان شیب افزایش یافت و در بخش شمالی و شرقی استان، شرایط از نظر میزان شیب نامناسب بود. بر اساس اطلاعات جدول ۱، جهت شیب جنوبی، جنوب شرقی و بی‌جهت، دسته بسیار مناسب

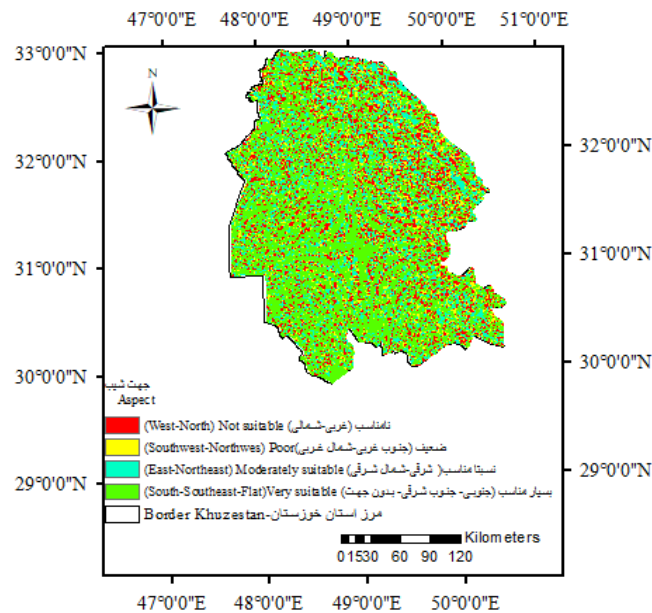


شکل ۱۳- نقشه شیب اراضی در استان خوزستان

Fig. 13. Map of land slope in Khuzestan province

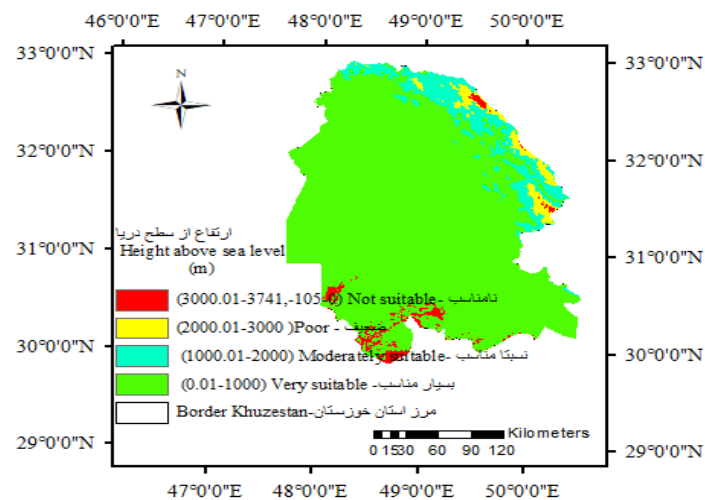
اقلیمی بیشترین تاثیر را بر عملیات کشاورزی دارند و پراکنش گونه‌های گیاهی اعم از وحشی و زراعی در عرض‌های مختلف جغرافیایی بستگی به عوامل اقلیمی، به خصوص بارندگی و دما دارد. بنابراین ارزیابی عوامل

نتایج به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار اقلیم ( $0/472$ ) نسبت به دو عامل خاک ( $0/444$ ) و توپوگرافی ( $0/084$ )، از نظر اثر بر مکان‌یابی زراعت گندم در رتبه اول قرار دارد (جدول ۳). عوامل



شکل ۱۴- نقشه جهت شیب اراضی در استان خوزستان

Fig. 14. Map of land slope direction in Khuzestan province



شکل ۱۵- نقشه ارتفاع از سطح دریا در استان خوزستان

Fig. 15. Map of height above sea level in Khuzestan province

توپوگرافی با ارزش وزنی ۰/۱۶۴، به ترتیب در رتبه اول تا سوم قرار داشتند (Kazemi et al., 2012). نتایج ارزیابی تناسب اراضی شهرستان گنبد کاووس برای زراعت جو دیم با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که عوامل اقلیمی (با وزن ۰/۵۱۷)، عوامل خاکی (با وزن ۰/۳۶۲) و عوامل توپوگرافی (با وزن ۰/۱۲۱)

اقلیمی برای بهره‌برداری حداکثری از آنها ضرورت دارد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی اراضی زراعی استان گلستان برای زراعت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار اقلیم با ارزش وزنی ۰/۴۴۳، معیار خاک با ارزش وزنی ۰/۳۹۲ و معیار

به ترتیب بیشترین تا کمترین ارزش وزنی را داشتند (جدول ۳). از بین عوامل خاکی، میزان شوری بیشترین وزن را داشت. در بین متغیرهای توپوگرافی، میزان شیب با وزن ۰/۵۴۷ اثر بیشتری نسبت به جهت شیب (با وزن ۰/۳۴۵) و ارتفاع از سطح دریا (با وزن ۰/۱۰۹) در مکان‌یابی زراعت گندم داشت (جدول ۳). نتایج ارزیابی تناسب اراضی شهرستان گنبد کاووس برای زراعت جو دیم با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که در بین عوامل توپوگرافی، میزان شیب با وزن ۰/۶۲۱، موثرترین عامل است (Farhadian Azizi et al., 2017). نتایج یک تحقیق درباره پهنه‌بندی اقلیمی-زراعی ذرت دانه‌ای در استان لرستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان داد که در بین متغیرهای توپوگرافی، میزان شیب با وزن ۰/۰۶۷ بیشترین وزن را داشت و موثرترین متغیر در بین زیرمعیارهای توپوگرافی شناخته شد (Saydi Shahivandi et al., 2013).

به ترتیب در رتبه اول، دوم و سوم قرار داشتند (Farhadian Azizi et al., 2017). در تحقیق حاضر در بین عوامل اقلیمی، عامل بارش با ارزش وزنی ۰/۵۴۸ بالاترین اهمیت و دمای میانگین با ارزش وزنی ۰/۱۱۷ کمترین اهمیت را داشت (جدول ۳). برآورد خلأ عملکرد گندم در حوزه قره‌سوی شهرستان گرگان با استفاده از رهیافت‌های جی‌آی‌اس، آراس و مدل SSM نشان داد که بارندگی با وزن ۰/۵۳۰ بیشترین وزن را در بین عوامل اقلیمی داشت (Badsar et al., 2018). نتایج پهنه‌بندی اقلیمی پتانسیل زراعت گندم در استان گلستان نشان داد که میزان بارندگی در بین عوامل اقلیمی، عامل محدود کننده محسوب می‌شود (Baniaghil et al., 2017).

در بین زیرمعیارهای مورد مطالعه مربوط به خاک، شوری (۰/۴۳۴)، نیتروژن (۰/۱۷۵)، کربن آلی (۰/۱۶۵)، فسفر (۰/۰۷۹)، پتاسیم (۰/۰۷۵) و pH خاک (۰/۰۷۲)

جدول ۳- ارزش وزنی و اهمیت معیارها و زیرمعیارهای مربوط به عوامل موثر در زراعت گندم در استان خوزستان  
Table 3. Weighted value and importance of criteria and sub-criteria related to factors affecting wheat production in Khuzestan province

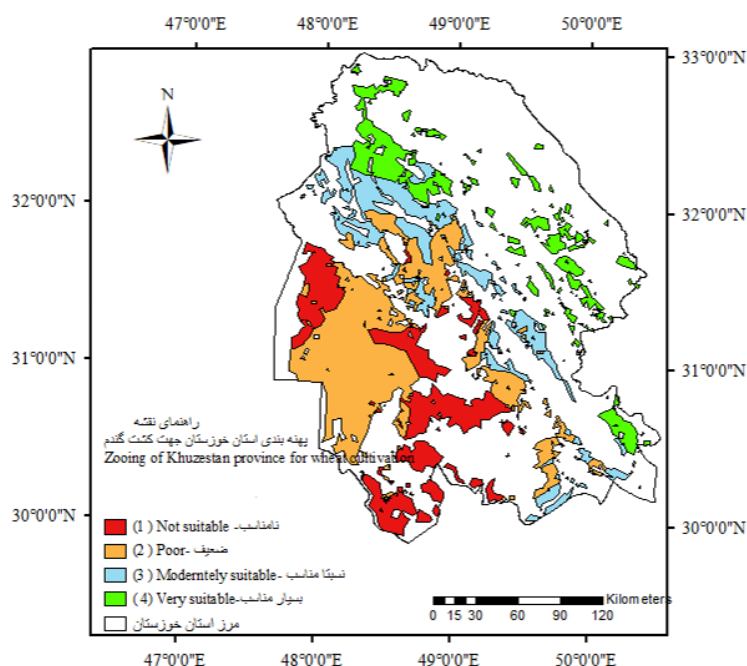
| Criteria   | معیار     | ارزش وزنی<br>Weighted value | اهمیت<br>Importance | Sub-criteria    | زیر معیار          | ارزش وزنی<br>Weighted value | اهمیت<br>Importance |
|------------|-----------|-----------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|
| Climatic   | اقلیمی    | 0.472                       | 1                   | Rainfall        | بارندگی            | 0.546                       | 1                   |
|            |           |                             |                     | Max. temp.      | دمای حداکثر        | 0.188                       | 2                   |
|            |           |                             |                     | Min. temp.      | دمای حداقل         | 0.147                       | 3                   |
|            |           |                             |                     | Mean temp.      | دمای میانگین       | 0.117                       | 4                   |
| Edaphic    | خاکی      | 0.444                       | 2                   | EC              | هدایت الکتریکی     | 0.434                       | 1                   |
|            |           |                             |                     | Total N         | نیتروژن کل         | 0.175                       | 2                   |
|            |           |                             |                     | O.C.            | کربن آلی           | 0.165                       | 3                   |
|            |           |                             |                     | Ava. P          | فسفر قابل دسترس    | 0.079                       | 4                   |
|            |           |                             |                     | Ava. K          | پتاسیم قابل دسترس  | 0.075                       | 5                   |
|            |           |                             |                     | pH              | اسیدیته            | 0.072                       | 6                   |
| Topography | توپوگرافی | 0.084                       | 3                   | Slope           | شیب                | 0.547                       | 1                   |
|            |           |                             |                     | Slope direction | جهت شیب            | 0.345                       | 2                   |
|            |           |                             |                     | Hieght ASL      | ارتفاع از سطح دریا | 0.109                       | 3                   |

اطلاعات جغرافیایی نواحی همگن را با دقت مطلوب شناسایی و پهنه‌بندی دقیق با توجه به نتایج فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد که حاصل آن نقشه مکان‌یابی

نتایج نشان داد که پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی گندم بر اساس تحلیل داده‌های اقلیمی، خاک و توپوگرافی امکان‌پذیر بوده و با استفاده از سامانه

گندم در بخش شمالی و اراضی نامناسب در بخش جنوبی استان شناسایی شدند. از بخش جنوب به سمت شمال استان، ارتفاع از سطح دریا، میزان بارندگی، شیب و حاصل خیزی خاک افزایش و میزان شوری خاک و دما کاهش داشتند (شکل ۱۶).

زراعت گندم در استان خوزستان است که در چهار دسته بسیار مناسب (۴)، نسبتاً مناسب (۳)، ضعیف (۲) و نامناسب (۱) نشان داده شده است (شکل ۱۶). بر اساس اطلاعات نقشه، از جنوب به سمت شمال و از غرب به سمت شرق استان، مطلوبیت عوامل محیطی بیشتر بود و اراضی با توان مناسب و مطلوب برای زراعت



شکل ۱۶- پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی اراضی برای زراعت گندم در استان خوزستان

Fig. 16. Agroecological zoning of arable lands for wheat production in Khuzestan province

کل مساحت زمین‌های زراعی استان را دارند (جدول ۴). پهنه‌های نسبتاً مناسب از نظر شرایط اقلیمی، خاکی و توپوگرافی در شرایط مناسبی از نظر زراعت گندم در استان هستند، اما نسبت به پهنه بسیار مناسب، توان کمتری دارند. پهنه نامناسب زراعت گندم در استان محدود است که علت آن را می‌توان به عوامل محیطی مانند بالا بودن میزان شوری خاک، کاهش حاصل خیزی خاک، کاهش نزولات جوی و بالا بودن دما در بخش‌های جنوبی و غربی استان نسبت داد.

نقشه پهنه‌بندی استان نشان داد که حدود ۳۸۰ هزار هکتار (۱۵/۹۴ درصد) از اراضی زراعی استان در دسته بسیار مناسب (دسته ۴)، حدود ۴۷۶ هزار هکتار (۱۹/۹۴ درصد) در دسته نسبتاً مناسب (دسته ۳)، حدود ۹۷۷ هزار هکتار (۴۰/۹۴ درصد) در دسته ضعیف (دسته ۲) و حدود ۵۵۳ هزار هکتار (۲۳/۱۷ درصد) در دسته نامناسب (دسته ۱) برای زراعت گندم قرار دارند. پهنه بسیار مناسب با ۱۵/۹۴ درصد و پهنه نسبتاً مناسب با ۴۰/۹۴ درصد، به ترتیب کمترین و بیشترین درصد از

#### جدول ۴- مساحت پهنه‌های طبقه‌بندی شده برای زراعت گندم در استان خوزستان

Table 4. The area of classified zones for wheat production in Khuzestan province

| Classification of zones | طبقه‌بندی پهنه‌ها | مساحت پهنه‌ها<br>Area of zones (ha) | نسبت مساحت پهنه‌ها به مساحت کل اراضی کشاورزی<br>Zone area ration to the total arable lands (%) |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Very suitable           | بسیار مناسب       | 380560.33                           | 15.94                                                                                          |
| Moderately suitable     | نسبتاً مناسب      | 476193.23                           | 19.94                                                                                          |
| Poor                    | ضعیف              | 977474.65                           | 40.94                                                                                          |
| Not suitable            | نامناسب           | 553176.16                           | 23.17                                                                                          |

(Salehnia and Falahi, 2010). در همین راستا در پهنه‌بندی اقلیمی اراضی استان خراسان جنوبی برای زراعت کلزا، شهرستان‌های واقع در بخش جنوبی استان (بشروی و نه‌بندان) به‌عنوان مناطق نامناسب گزارش شدند. این مناطق بیشترین احتمال وقوع دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله غلاف‌بندی و وقوع دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله رسیدگی دانه کلزا را داشتند (Rasooli and Ghaemi, 2011). عساکره و مازینی (Asakereh and Mazini, 2010) بیان داشتند که میانگین بارندگی سالانه در استان گلستان از شمال به جنوب افزایش می‌یابد و کمترین مقدار بارندگی در نواحی شمالی و بیشترین مقدار آن در نواحی جنوبی استان رخ می‌دهد و نقش ارتفاع از سطح دریا در میزان بارندگی بیشتر از طول و عرض جغرافیایی است. در مطالعه دیگری گرامی‌مطلق و شبانکاری (Gerami Mutlaq and Shabankare, 2006) با استفاده از روش‌های تجربی و شیوه‌های مبتنی بر روش‌های آماری استان بوشهر را پهنه‌بندی اقلیمی کرده و نتیجه گرفتند که مهم‌ترین عوامل شکل دهنده تنوع اقلیمی به‌ترتیب عامل رطوبتی-بادی، عامل ابری-بارشی، عامل گرمایی-دید و عامل بادی-غباری هستند.

#### نتیجه‌گیری

امروزه در ارزیابی و شناسایی مناطق مناسب برای زراعت گیاهان مهم زراعی و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود جهت دستیابی به عملکرد بالا و پایدار، استفاده از ابزارها و روش‌های نوین کم‌هزینه و کارآمد،

بر اساس نتایج پهنه‌بندی اقلیمی زراعت گندم در استان آذربایجان شرقی، سه پهنه بسیار مناسب، مناسب و ضعیف شناسایی شد (Kamali et al., 2008). موحدی و همکاران (Movahedi et al., 2013) با پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان، پهنه‌های اقلیمی را به‌صورت ۱- پهنه کم‌بارش با رطوبت نسبی بالا (ناحیه جنوب غربی)، ۲- پهنه گرم و خشک (ناحیه شمالی-جنوبی)، ۳- پهنه مرطوب و معتدل (ناحیه مرکزی-جنوب شرقی)، ۴- پهنه پربارش (ناحیه شرقی) و ۵- پهنه مرطوب و معتدل (ناحیه شمالی) گزارش شدند. پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی تولید گندم با هدف برآورد خلاء عملکرد در دشت شاوور خوزستان نشان داد که پهنه‌های بسیار مناسب در بخش شمالی این دشت قرار داشته و مکان مناسبی برای تامین نیازهای محیطی و زراعی گندم است. ماده آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبتاً مناسب از جمله ویژگی‌های برتر این پهنه‌ها هستند (Mosadeghi et al., 2020). نتایج تحقیق فرج‌زاده و تکلوییغش (Farajzadeh and Takalo Biqash, 2001) درباره پهنه‌بندی اگروکلیمایی برای زراعت گندم در استان همدان نشان داد که بخش‌های جنوبی استان برای زراعت گندم مساعد است. این مناطق عمدتاً دارای بارندگی بیشتر و دمای مطلوب در دوره رشد گندم بودند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، در استان خراسان رضوی، به دلیل ویژگی‌های مناسب اقلیمی، خاک‌های مناسب زراعی، شرایط آبی نسبتاً مناسب، وجود دشت‌ها و دره‌های بزرگ و حاصل‌خیز، شرایط مناسبی برای زراعت گندم آبی وجود دارد

حاصل خیزی خاک، می‌توان اراضی این طبقات نامرغوب را از نظر کیفی ارتقاء داد. علاوه بر این در مناطقی که نزولات جوی و منابع آبی قابل اتکایی ندارند، می‌توان نسبت به توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی اقدام نمود. در این مناطق می‌توان روش‌هایی مانند آبشویی اراضی شور و زه‌کشی آن‌ها، اجرای تناوب زراعی، استفاده از ارقام متحمل به تنش‌های محیطی، استفاده از روش‌های نوین آبیاری با هدف افزایش بهره‌وری آب را برای توسعه زراعت گندم توصیه کرد.

### سپاسگزاری

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای فراهم نمودن شرایط اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

ضروری است. در این پژوهش با ارزیابی عوامل مختلف اقلیمی، خاکی و توپوگرافی و با استفاده از نظرات متخصصان زراعت، مناطق مناسب و نامناسب استان خوزستان برای زراعت گندم در چهار طبقه دسته‌بندی شدند. با شناسایی توانمندی‌ها و محدودیت‌های محیطی زراعت گندم در استان خوزستان، مشخص شد که ۳۵/۸۸ درصد از اراضی کشاورزی استان توان بسیار مناسب و نسبتاً مناسبی برای تولید گندم دارند که به‌طور عمده در مناطق شمالی، شمال غربی و شرق استان قرار دارند. در مناطق ضعیف یا نامناسب جنوب، جنوب غربی و غرب استان (۶۴/۱۲ درصد) که با عواملی مانند بالابودن میزان شوری خاک، کاهش حاصل خیزی خاک، کاهش نزولات جوی و بالا بودن دما مواجه هستند، با انجام برخی اقدامات مانند استفاده از کودهای سبز و سایر انواع کودهای آلی برای افزایش محتوای کربن آلی و بهبود

### References

### منابع مورد استفاده

- Alijani, F., Karbasi, A.R. and Mozaffari Mosen, M. 2011. Effect of temperature and precipitation on irrigated wheat yield. *Agricultural Economics and Development*, 19(76), pp.143-166. [In Persian]. doi: 10.30490/aead.2012.58750 .
- Asakereh, H. and Mazini, F. 2010. Analysis of the probability distribution for the annual precipitation in the golestan province. *Iran-water Resources Research*, 6(1), pp.51-55. [In Persian].
- Ashraf Jahani, M. 2021. Agricultural statistics. Agriculture. Ministry of Agriculture. Vice President of Economic Planning Center for Statistics. Information and Communication Technology. [In Persian]. <https://agrieng.org/images/dlcenter/jahad/zeraee.pdf>
- Badsar, M., Kamkar, B., Soltani, A. and Abdi, A. 2018. Suitability assessment of wheat-grown fields using geographic information system, remote sensing and analytical network process method in Qarasu basin, Gorgan County. *Journal of Crop Production*. 11(1), pp.1-22. [In Persian]. doi: 10.22069/EJCP.2018.8803.1684
- Baniaghil, A.S., Rahemi Karizki, A., Biabani, A. and Faramarzi, H. 2017. Potential climatic zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) Golestan province. *Journal of Agroecology*, 9(3), pp.821-833. [In Persian]. doi: 10.22067/jag. v9i3.52027
- Farhadian Azizi, Sh., Kazemi, H. and Soltani, A. 2017. Land suitability evaluation of Gonbad-e-Kavous

- township for rainfed barley cultivation using analytical hierarchy process. *Cereal Research*. 7(3), pp.437-450. [In Persian]. doi: 10.22124/c.2018.3732.1135
- Fekadu, E., Negese, A. and Yildiz, F. 2020.** GIS assisted suitability and analysis for wheat and barley crops through AHP approach at Yikalo watershed, Ethiopia. *Journal of Food Science and Technology*. 6(1743623), pp.1-21. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1743623>
- Farajzadeh, M. and Takalo Biqash, A. 2001.** Agroclimatic zoning of Hamedan province using geographic information system with emphasis on dryland wheat. *Geographical Research Quarterly*, 33(41), pp.93-105. [In Persian]. [https://jrg.ut.ac.ir/article\\_12819\\_10dcf115b9e3bce8cda3f45e0cc8e39f.pdf](https://jrg.ut.ac.ir/article_12819_10dcf115b9e3bce8cda3f45e0cc8e39f.pdf)
- Feizizadeh, B., Abdali, H. Rezaei Banfshah, M. and Mohammadi, Gh. 2012.** Zoning of susceptible area to rainfed wheat in the Eastern Azerbaijan province by Geospatial analysis of GIS. *Journal of Agronomy (Pajouhesh & Sazandeghi)*, 3(96), pp.75-91. [In Persian].
- Gerami Mutlaq, A. and Shabankare, M. 2006.** Climatic zoning of Bushehr province. *Journal of Applied Sociology*, 20(1), pp.187-210. [In Persian].
- Ghaffari, A., De Pauw, E. and Mirghasemi, A. 2012.** Zoning of agro-ecology in the Karkhe River watershed. *Iranian Dryland Agromomy Journal*, 1(1), pp.1-16. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/idadj.2012.100093>
- Heidarpour, N., Bahramy, H., Mansoori, Y. and Hojati, S. 2018.** Feasibility study of determination of planting areas for wheat and canola using GIS (Case study: Maroon basin of Khuzestan province). *Journal of Agroecology*, 10(2), pp.473-489. [In Persian]. doi: 10.22067/jag. v10i2.58043
- Kamali, G.A., Sedghianipour, A., Sedaghat Kardar, A. and Askari, A. 2008.** The climatic zoning of dryland wheat in eastern Azarbaijan. *Water and Soil*. 22(2), pp.467-483. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i22.1045>
- Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi Sarvestani, Z. Kamkar, B., Shataei, Sh. and Sadeghi, S. 2012.** Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). *Electronic Journal of Crop Production*. 5(1), pp.123-139. [In Persian]. dor: 20.1001.1.2008739.1391.5.1.8.7
- Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh. and Sadeghi, S. 2016.** Determination of suitable cropping pattern for Golestan province by geographical information system (GIS). *Watershed Management Research*. 29(110), pp.88-106. [In Persian]. doi: 10.22092/wmej.2016.112502
- Kazemi, H. 2016.** Application of Geographic Information System in Agricultural Sciences. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Nowruz Publications. [In Persian].
- Kilic, O.M., Ersayin, K., Gunal, H. and Khalofan, A., 2022.** Combination of fuzzy- AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat cultivation. *Journal of Biological Sciences*, 29(4), pp.2634-2644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12050>
- Mikaniki, J., Ashrafi, A. and Sadeghi, H. 2013.** Feasibility of rapeseed cultivation in Izeh city using

- geographic information system (GIS). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 3(8), pp.101-114. [In Persian]. doi: 10.22111/gaij.2013.1289
- Mosadeghi, A., Akbari, N., Bakhshandeh, A. and Sarmadian, F., Nasiri, B. and Sufizadeh, S. 2020.** Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems using RS and GIS in the Shavoor plain of Khuzestan. *Journal of Agroecology*, 11(4), pp.1527-1543. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v11i4.69867
- Movahedi, S., Heydari Naserabadi, B., Hashemi Anna, S.K. and Ranjbar, F. 2012.** Zoning of climatic areas of Khuzestan province. *Journal of Geographic Space*, 12(4,40), pp.64-73. [In Persian]. URL: <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-67-fa.html>
- Ranjbar, G.H. and Banakar, M.H. 2011.** Salt tolerance threshold of four commercial wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Soil Research*. 24(3), pp.238-242. doi: 10.22092/ijsr.2011.126637
- Rasooli, J. and Ghaemi, A.R. 2010.** Canola cultivation area dividing about climatic temperature needs used GIS in Khorasan Provinces. *Electronic Journal of Crop Production*. 3(1), pp.121-138. [In Persian]. doi: 20.1001.1.2008739.1389.3.1.8.3
- Saaty, T.L. 1999.** Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of ISAHP. Kobe. Japan.
- Saydi Shahivandi, M., Khaledi, Sh., Shakiba, A. and Mirbagheri, B. 2013.** Zoning of grain corn farming climate in Lorestan province using geographic information system techniques. *Applied Research in Geographical Sciences*. 13(29). pp. 195-214. [In Persian]. URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1520-1-fa.html>
- Salehnia, N., and Falahi, M.A. 2010.** Investigating the effect of climatic and economic factors on the performance of water wheat using the panel data model of a case study: Razavi Khorasan Province. *Journal of Water and Soil*, 24(2), pp.375-384. [In Persian]. doi: 10.22067/jsw. v0i0.3254
- Sanjani, S. 2012.** Application guide. Arc GIS 10. Abed Publications. Tehran, Iran. [In Persian].
- Shahbazi, K., and Basharti, H. 2013.** Overview agricultural soil fertility status of Iran. *Journal of Land Management*. 1(1), pp. 1-15. doi: 10.22092/lmj.2013.100072
- Slimangli, E., Kamkar, B. and Arabi, Z. 2012.** The relationship between wheat yield and climatic and topographical factors using GIS geographic information system in Minodasht city. National Conference on Environment and Plant Products. The National Conference on Environment and Plant Production. Oct. 6, 2012. Semnan Branch of Islamic Azad University. [In Persian].
- Sys, C., Van Ranset, E., Debaveye, J. and Beernaert, F. 1993.** Land Evaluation: Crop Requirements. International Training Center for Post Graduate Soil Scientist. Ghent University. Ghent., Belgium.
- Tugac, M.G., Tercan, A.E., Torunlar, H. Karakurt, E. and Usul, M. 2023.** Agricultural land suitability assessment with GIS-based multicriteria decision analysis and geostatistical approach in semiarid regions. *Journal of Soil Studies*, 12(1), pp.15-29. <http://doi.org/10.21657/soilst.1328637>