2/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.369128.775

Identifying Land Limitations Based on Assessing Their Suitability for Oilseed Plants Cultivation in the Country's Irrigated Plains

Javad Seyedmohammadi[1]* and Mirnaser Navidi[2]

1- Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; j.mohammadi@areeo.ac.ir
2- Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; n.navidi@areeo.ac.ir

«Research Article»
Received: April 27, 2025, and Accepted: July 14, 2025

Abstract

In this research, nationwide soil units in irrigated plains were identified for evaluating land suitability for irrigated cultivation of sunflower, soybean, canola, and seasame. To address this objective, existing soil survey studies across Iran were compiled, digitized, and harmonized. Using satellite imagery, land-use maps, and agro-climatic zoning data, subsequently, climatic, soil, and topographic parameters were integrated into a custom-developed software system based on the FAO land evaluation framework, i.e. employing the "parametric square root method". The results revealed that among approximately 4 million hectares (Mha) evaluated for sunflower cultivation, 158 thousand ha (Tha) were classified as S1 (highly suitable), 1.2 Mha as S2 (moderately suitable), 1.36 Mha as S3 (marginally suitable), 585 Tha as N1 (currently unsuitable), and 702 Tha as N2 (permanently unsuitable). For soybean, across 1.8 Mha, 27 Tha fell into S1, 500 Tha into S2, 548 Tha into S3, 316 Tha into N1, and 450 Tha into N2. Of the 5.5 Mha evaluated for canola, 195 Tha were S1, 1.6 Mha S2, 2.4 Mha S3, 596 Tha N1, and 804 Tha N2. For sesame, across 1.7 Mha, 23 Tha were S1, 135 Tha S2, 554 Tha S3, 460 Tha N1, and 537 Tha N2. Multivariate analysis of variance (MANOVA) confirmed the reliability of the land suitability classification. The primary limiting factors for sunflower cultivation included soil pH, texture, and especially in unsuitable classes, salinity, sodicity, calcium carbonate content, and slope. For soybean, organic carbon, climate, slope, salinity and sodicity were the key constraints. In case of canola, pH, texture, salinity, and sodicity; and for sesame, organic carbon, pH, salinity, and sodicity were the most limiting factors. The results and spatial maps generated in this study provide a robust decision-support tool for farmers, producers, and policymakers, enabling more informed planning and targeted cultivation of oilseed crops across Iran's irrigated plains.

Keywords: Land limitations, Land suitability, Sunflower, Soybean, Canola, Sesame.

*- Corresponding author's email: j.mohammadi@areeo.ac.ir

Cite this article:Seyedmohammadi, J., Navidi, M.N., 2025. Identifying Land Limitations Based on Assessing Their Suitability for Oilseed Plants Cultivation in the Country's Irrigated Plains. Journal of Soil Research,39 (1),19-51.

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۴۰۴/۵۱-۱۹
DOI:10.22092/IJSR.2025.369128.775

شناسایی محدودیت‌های اراضی با توجه به ارزیابی تناسب آن‌ها برای کشت گیاهان دانه روغنی در دشت‌های آبی کشور

جواد سیدمحمدی[۱*] و میرناصر نویدی[۲]

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
j.mohammadi@areeo.ac.ir
۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
n.navidi@areeo.ac.ir

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۴/۲/۷و پذیرش:۱۴۰۴/۴/۲۳

چکیده

در این پژوهش، تناسب اراضی برای کشت آبی محصولات آفتابگردان، سویا، کلزا و کنجد، با تجمیع، آماده‌سازی و رقومی‌سازی مطالعات خاکشناسی در سطح کشور و با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری و در نظر گرفتن پهنه‌های زراعی- اقلیمی، واحدهای خاک در دشت‌های آبی سراسر کشور مشخص شد. سپس، با وارد کردن داده‌های اقلیم، خاک و پستی و بلندی در نرم‌افزار تهیه شده بر پایه چارچوب فائو و روش پارامتریک ریشه دوم، اراضی مزبور برای کشت آبی محصولات ذکر شده مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت. نتایج مشخص کرد که از چهار میلیون هکتار اراضی مورد بررسی برای کشت آبی آفتابگردان، حدود ۱۵۸ هزار هکتار در کلاس S1 (مناسب زیاد)، ۱/۲ میلیون هکتار در کلاس S2 (مناسب متوسط)، ۱/۳۶ میلیون هکتار دارای کلاس S3 (مناسب بحرانی)، ۵۸۵ هزار هکتار دارای کلاس N1 (نامناسب در حال حاضر) و ۷۰۲ هزار هکتار کلاس N2 (نامناسب دائمی) بود، از اراضی به مساحت حدود ۱/۸ میلیون هکتار برای کشت سویا، ۲۷ هزار هکتار در کلاس S1، ۵۰۰ هزار هکتار دارای کلاس S2، ۵۴۸ هزار هکتار در کلاس S3، ۳۱۶ هزار هکتار دارای کلاس N1 و ۴۵۰ هزار هکتار کلاس N2، از ۵/۵ میلیون هکتار اراضی برای کشت کلزا، ۱۹۵ هزار هکتار در کلاس S1، ۱/۶ میلیون هکتار دارای کلاس S2، ۲/۴ میلیون هکتار دارای کلاس S3، ۵۹۶ هزار هکتار دارای کلاس N1 و ۸۰۴ هزار هکتار در کلاس N2 و از اراضی به مساحت حدود ۱/۷ میلیون هکتار برای کشت کنجد، ۲۳ هزار هکتار در کلاس S1، ۱۳۵ هزار هکتار دارای کلاس S2، ۵۵۴ هزار هکتار دارای کلاس S3، اراضی به مساحت ۴۶۰ هزار هکتار دارای کلاس N1 و ۵۳۷ هزار هکتار در کلاس N2 قرار داشت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر پایه تحلیل واریانس چندمتغیره نشان داد که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی دارای دقت قابل قبولی بود. مهمترین مشخصه‌های محدودکننده در اراضی کشت آبی کشور عبارت بود از، برای آفتابگردان: اسیدیته، بافت و به‌ویژه در کلاس‌های نامناسب شوری و قلیائیت، آهک و شیب، برای سویا: کربن‌آلی، اقلیم، شیب، شوری و قلیائیت، برای کلزا: اسیدیته، بافت، شوری و قلیائیت و برای کنجد: کربن‌آلی، اسیدیته، شوری و قلیائیت. تحلیل‌ها و نقشه‌های ارائه شده در این پژوهش می‌تواند یک راهنمای برنامه‌ریزی مناسب برای کشاورزان، تولیدکنندگان و برنامه‌ریزان به منظور تصمیم‌گیری دقیق‌تر در کشت گیاهان دانه روغنی در مناطق مختلف از دشت‌های آبی کشور باشد.

واژه های کلیدی: آفتابگردان، تناسب اراضی، سویا، محدودیت‌های اراضی، کلزا، کنجد.

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: j.mohammadi@areeo.ac.ir

استناد: سیدمحمدی، ج.، نویدی، م.ن.، ۱۴۰۴. شناسایی محدودیت‌های اراضی با توجه به ارزیابی تناسب آن‌ها برای کشت گیاهان دانه روغنی در دشت‌های آبی کشور. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۵۱-۱۹.

مقدمه

کشاورزی، پایه و اساس اقتصاد، مهمترین بستر امنیت غذایی برای ادامه حیات بشر و از اساسی‌ترین صنایع در توسعه و پایداری جامعه است (کوندو و همکاران، ۲۰۱۹؛ سیدمحمدی و نویدی، ۲۰۲۲). برای سیاست‌گذاری مناسب استفاده از اراضی جهت ارتقاء توسعه پایدار، ضروری است که اولویت‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری‌های مطمئن توسعه داده شود تا به عنوان ابزاری به شناسایی مناسب‌ترین الگوی مکانی کشت کمک کند (نگوین و همکاران، ۲۰۲۰؛ التعانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ نویدی و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو، تحلیل مناسب بودن اراضی، ابزاری مهم برای برنامه‌ریزان و سیاستگذاران بوده تا با اختصاص دادن درست اراضی برای استفاده‌های آینده، به طور مؤثر، تخریب اراضی و تأثیرات منفی زیست‌محیطی به حداقل رسانده شود (فان و همکاران، ۲۰۱۲؛ مالمیر و همکاران، ۲۰۱۶؛ اوستااوغلو و آیدین‌اوغلو، ۲۰۲۰؛ سیدمحمدی و همکاران، ۱۴۰۱). خاک و اراضی از مهمترین منابع طبیعی برای تولید محصولات زراعی، تأمین معیشت زندگی و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه می‌باشند (نویدی و همکاران، ۱۴۰۱). کشت محصولات زراعی بدون اطلاع از ظرفیت ذاتی خاص مکان از جمله محدودیت‌های خاک، منجر به کاهش چشمگیر بهره‌وری و وخیم شدن وضعیت خاک خواهد شد. داشتن اطلاعات دقیق از قابلیت خاص موقعیت مکانی خاک، استفاده از منابع خاک را در جهت کشت محصولات زراعی بهینه کرده و حداکثر بازدهی را به همراه می‌آورد (کاندهی و ساوالیا، ۲۰۱۴؛ وانیاما و همکاران، ۲۰۱۹؛ سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۲۰۱۹؛ مندال و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی تناسب اراضی یکی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی کاربری اراضی بوده که به دلیل پشتیبانی از مدیریت اراضی، در کاهش تخریب اراضی و کارایی بهتر اراضی مؤثر است (سینگا و اسواین، ۲۰۱۶؛ مظهره و همکاران، ۲۰۱۹؛ نگوین و همکاران، ۲۰۲۰).

به منظور تدوین سیاست‌های کشاورزی پایدار، مدیریت محصولات استراتژیک با ارزش، بسیار مهم است. در این زمینه، ارزیابی تناسب اراضی مبتنی بر تولید کشاورزی و تصمیم‌گیری انتخاب مکان مناسب نقش مهمی دارند. انتخاب و اولویت‌بندی مناسب‌ترین مناطق یکی از مهمترین موارد، مراحل تجزیه و تحلیل تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی است (پورنماسری و همکاران، ۲۰۱۹؛ تیرکان و دیرلی، ۲۰۲۰؛ نویدی و همکاران، ۲۰۲۳؛ نویدی و سیدمحمدی، ۱۴۰۲). تجزیه و تحلیل مناسب بودن اراضی کشاورزی یکی از ابزارهای مهمی است که برای شناسایی استفاده بهینه از اراضی در دسترس، برای تولید محصولات زراعی استفاده می‌شود (ددی‌اوغلو و دنگیز، ۲۰۱۹؛ آکپوتی و همکاران، ۲۰۲۰). اطلاعات کشاورزی مانند انواع خاک و خصوصیات آن‌ها، بارندگی، دما، ساعات آفتابی و مشخصات توپوگرافی اطلاعات اساسی می‌باشند که به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری پشتیبان قبل از تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهترین محصولات زراعی برای کشت در اراضی خاص بایستی تعیین شوند (هزیر و همکاران، ۲۰۲۰؛ تشایو و همکاران، ۲۰۲۰). در تجزیه و تحلیل تناسب اراضی، به برخی از مشخصه‌های اساسی تأثیرگذار همانند بافت خاک و در دسترس بودن مواد مغذی، pH، کربن‌آلی، EC و مقاومت خاک؛ تعادل بین ترمیم و فرایند تخریب، به دلیل ظرفیت کنترل‌کنندگی بیشتر آن‌ها در سیستم‌های کاشت، صرف نظر از سایر خصوصیات زیست محیطی، تأکید بیشتری شده است. بنابراین تجزیه و تحلیل مناسب بودن محل خاک و اراضی در انتخاب گیاهان زراعی مناسب برای مکان‌یابی واحدهای خاص خاک برای بهینه‌سازی بهره‌وری محصول کمک می‌نماید و به دلیل نقش مؤثر آن در مدیریت مناسب خاک، یکی از ابزارهای مهم در کشاورزی پایدار می‌باشد (دیهاروماراجان و سینگ، ۲۰۱۴؛ صفوان و همکاران، ۲۰۲۰).

مفهوم مناسب بودن مکان‌های خاکی همانطور که توسط فائو پیشنهاد شده است در رویکرد ارزیابی اراضی

تعبیه شده است. ارزیابی تناسب اراضی به ارزیابی پتانسیل اراضی برای استفاده خاص اشاره دارد (فائو، ۱۹۷۶). علیرغم چندین محدودیت، بولتن‌های خاک فائو ۳۲ (۱۹۷۶) و ۵۵ (۱۹۸۵)، به‌دلیل رویکرد مستقیم رو به جلو با کاربردهای مدل‌های ساده، هنوز هم متداول‌ترین راهنمای استفاده در ارزیابی تناسب اراضی هستند (مندال و همکاران، ۲۰۲۰؛ التعانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سیدمحمدی و نویدی، ۲۰۲۲). چندین مرحله مستمر در سیستم ارزیابی اراضی فائو شامل توصیف ویژگی‌های بارز خاک، آب و هوا و الگوی کاربری اراضی، شناسایی معیارهای مربوط به خاک و زمین‌نما (نیازمندی‌های محصول)، تطابق نیازمندی‌های گیاهان با وضعیت موجود خاک و زمین‌نما و در نهایت پیشنهاد مناسب‌ترین محصولات زراعی، وجود دارد.

چندین محقق مناسب بودن اراضی را برای محصولات گیاهان دانه روغنی در سطح کشور ارزیابی کرده‌اند از جمله دادگر و همکاران (۲۰۰۷) اراضی به مساحت ۲۰ هزار هکتار در منطقه دماوند برای کشت آبی سویا و آفتاب‌گردان، پاکپور رباطی و همکاران (۲۰۱۲) اراضی به مساحت ۱۰ هزار هکتار در منطقه پسوه و جلدیان آذربایجان غربی برای کشت آفتابگردان، یزدانی و همکاران (۲۰۱۳) اراضی استان‌های تهران و البرز برای کشت کلزا، کامکار و همکاران (۲۰۱۴) اراضی به وسعت حدود ۵۰ هزار هکتار در استان گلستان برای کشت سویا و کلزا، گیوی و حقیقی (۱۳۹۴) اراضی به مساحت ۲۵ هکتار در شهرکرد برای کشت کلزا، سیدمحمدی و همکاران (۲۰۱۸) اراضی به وسعت ۱۲۰۰۰ هکتار در دشت مغان برای کشت آبی محصولات سویا و کلزا، استواری و همکاران (۲۰۱۹) محدوده‌ای به مساحت حدود ۵۲ هزار هکتار در شمال شرقی آذربایجانشرقی برای کلزا، که هیچکدام به صورت جامع و در سطح ملی نبوده و غالباً در مقیاس محلی و وسعت کم انجام شده‌اند.

تصمیم‌گیری و انتخاب نامناسب اراضی می‌تواند بهره‌وری اراضی را محدود کند. ارزیابی تناسب اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده فعلی و آینده اراضی ضروری است. کمبود اطلاعات در مورد توزیع مکانی خاک‌ها در مقابل مناسب بودن اراضی برای رشد و توسعه محصولات زراعی خاص از جمله گیاهان دانه روغنی یکی از محدودیت‌های عمده برای سیاست‌گذاران جهت برنامه‌ریزی مناسب برای مناطق مستعد کشاورزی می‌باشد. وضعیت اقتصادی و اجتماعی نامساعد با آسیب‌پذیری زیاد در برابر بلایای زیست‌محیطی همراه با رشد جمعیت و محدود شدن منابع اراضی کشاورزی ناشی از عواملی همچون فرسایش، کشاورزان را وادار کرده، بدون هیچگونه آگاهی در مورد مناسب بودن اراضی برای محصولات خاص، عملیات کشت و کار را انجام دهند. از طرف دیگر، کاربری اراضی، هواشناسی، توپوگرافی، هیدرولوژیکی و شرایط اجتماعی مناطق مختلف کشور با یکدیگر متفاوت است. برای این دلیل، ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی بایستی بر اساس طیف گسترده‌ای از معیارهای ارزیابی در مناطق مختلف کشور انجام شود. با توجه به اینکه، دانه‌های روغنی و فراورده‌های آن‌ها به دلیل خواص غذایی و مواد سرشار از انرژی موجود در آن‌ها بسیار سودمند بوده و روغن آن‌ها دارای مزایای ویژه‌ای از جمله قابلیت تجدید و تجزیه بیولوژیکی (سازگاری با محیط) و کمی خواص بیماری‌زایی و آلرژی‌زایی می‌باشند. برای این منظور، اراضی کشاورزی در دشت‌های آبی کشور با روش پارامتریک ریشه دوم برای کشت آبی محصولات دانه روغنی شامل آفتاب‌گردان، سویا، کلزا و کنجد مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل اراضی واقع شده در دشت‌های آبی سطح کشور که دارای مطالعه خاکشناسی بوده، می‌باشد. اقلیم محدوده مطالعاتی شامل پهنه‌های مختلف اقلیمی از گرم و خشک تا سرد و مرطوب را در بر می‌گیرد.

مراحل پژوهش

جمع آوری مستندات و آماده‌سازی، رقومی‌سازی مطالعات خاکشناسی و محاسبه مقادیر شاخص اراضی و تعیین کلاس‌های تناسب اراضی در واحدهای خاک برای کشت گیاهان دانه روغنی شامل آفتاب گردان، کلزا، سویا و کنجد در دشت‌های آبی کشور طی مراحل زیر انجام شد:

جمع‌آوری مستندات: گزارش‌های مطالعات خاکشناسی انجام شده در سطح کشور جمع‌آوری شده، سپس مشخصات کلی مطالعات مانند سال انجام، دقت مطالعه، مقیاس نقشه‌ها، نوع نقشه‌های تفسیری، مساحت مطالعه، سیستم طبقه‌بندی خاک و همچنین کیفیت نقشه‌ها از نظر مرجع مکانی (داشتن مختصات جغرافیایی) و سایر موارد تعیین شدند تا به‌عنوان فراداده[1] مورد استفاده قرار گیرند. در هر مطالعه، کیفیت و کمیت محتویات گزارش مطالعات از جمله وجود اطلاعات پایه مورد نیاز طرح تناسب اراضی شامل مشخصات مورفولوژی و جدول تجزیه‌های آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق‌های خاک سری‌های شاهد بررسی و قابلیت بکارگیری آن‌ها در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی مورد بررسی دقیق واقع شد.

رقومی‌سازی اطلاعات و پردازش داده‌ها: نقشه‌های خاک کاغذی اسکن شده و سپس زمین‌مرجع گردید. یکپارچه‌سازی لایه‌های واحدهای خاک و اندکس نقشه‌های توپوگرافی برای هر منطقه مطالعاتی انجام شده و در نهایت، عملیات هم‌پوشانی کناره‌ای، پالایش و آماده‌سازی نقشه‌ها برای پردازش در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت. داده‌های توصیفی شامل خصوصیات مورفولوژیک خاک‌ها و نتایج مشاهدات میدانی و تجزیه‌های آزمایشگاهی خاکرخ‌های شاهد مانند بافت و ساختمان، سنگریزه، عمق خاک، آهک، گچ، شوری و قلیائیت و شیب اراضی در محیط نرم‌افزارهای متنی ذخیره و ثبت شده، سپس این داده‌ها به داده‌های مکانی مرتبط خود در محیط GIS ملحق شدند. بدین ترتیب پایگاه داده خاک تهیه شده و به هر یک از واحدهای نقشه نیز براساس استان، شماره گزارش، واحد خاک و شماره خاکرخ شاهد یک کد اختصاصی تعلق گرفت، به گونه‌ای که بتوانند با نتایج تناسب اراضی مرتبط شوند (جمشیدی، ۱۳۹۸).

کنترل کیفی مطالعات رقومی‌شده: به منظور کنترل کیفی مطالعات، مرزهای نقشه توسط تصاویر گوگل‌ارث صحت‌سنجی شد و اصلاحات مورد نیاز صورت پذیرفت. همچنین منابع خطا مانند خطاهای تکنیکی و شخصی در رقومی‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. خطای تکنیکی مربوط به خطای عکس‌های هوایی به‌عنوان لایه مبنایی مطالعات خاکشناسی (موزائیک عکس‌های هوایی) است. این نوع خطا به‌دلیل تفاوت مقیاس در قسمت‌های مختلف عکس هوایی بوده و بنابراین وجود خطا در مرزهای واحدهای منفک شده نقشه خاک دور از انتظار نیست. خطای شخصی نیز شامل خطای خاکشناس در ترسیم مرز خاک‌ها بر روی نقشه مبنایی و همچنین نقشه نهایی است که پس از مرحله مطالعات میدانی انجام می‌شود. همچنین خطای رقومی‌ساز شامل خطا در مراحل مختلف رقومی‌سازی از مرحله کپی نقشه‌های اصلی، خطای زمین‌مرجع و خطای ترسیم مرزهای واحدهای نقشه خاک می‌باشد. بنابراین با کاهش منابع خطا، نقشه‌های تهیه شده دارای دقت و صحت مناسبی شدند.

تهیه لایه اراضی هدف و اجرای فرایند تناسب اراضی

پس از تهیه لایه اراضی تحت کشت آبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۴، تصاویر ماهواره مودیس ۲۰۱۵، نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی وزرات جهاد کشاورزی با عنوان سیمای آبخیزها در سال ۱۳۸۲ با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ و لایه پوششی کشوری کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، این لایه در محیط GIS فراخوانده شده و لایه محدوده مطالعات خاکشناسی نیز به محیط اضافه گردید و shape file آن تهیه شد. سپس با هم‌پوشانی لایه محدوده اراضی کشاورزی آبی و لایه محدوده‌های رقومی‌شده مطالعات خاکشناسی،

[1] Meta data

لایه واحدهای خاک برای ارزیابی تناسب اراضی مشخص شد، لایه فوق حدود ۶ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت را شامل می‌شود. وضعیت اقلیم ایران چه به‌صورت منطقه‌ای و چه به‌صورت ملّی با روش‌های محلّی، بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. در اکثر موارد نیز به‌دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و عدم توزیع مناسب ارتفاعی و مکانی و استفاده از داده‌های محیطی نادقیق و بکارگیری مدل‌های ریاضی ناکارآمد، نقشه‌های ارائه شده در مقیاس ملّی بر توپوگرافی و پیچیدگی‌های اقلیمی- اراضی کشور منطبق نیستند. بنابراین نمی‌توانند زیربنای مناسبی برای مطالعات دیگر باشند. با این وجود پهنه‌بندی اقلیمی یونسکو (ACZ[1]) به‌دلیل برخی مزیت‌ها مانند تبعیت پلی‌گون‌ها از روند تغییرات مکانی توپوگرافی ایران، استفاده از متغیرهای اقلیمی و محیطی بیشتر در مدل‌سازی، لحاظ کردن تغییرات ارتفاعی نقطه‌ای و پیوسته و تطابق بیشتر کلاس‌های تعریف شده با اقلیم مناطق مختلف، مبنای کلاس‌های اقلیمی قرار گرفت. پس از هم‌پوشانی لایه خاک با نقشه ACZ، مشخص شد که برای هر یک از واحدهای خاک و ایستگاه سینوپتیک مربوطه کدام پهنه ACZ باید استفاده شود. همچنین دوره فنولوژیک گیاهان آفتاب‌گردان، کلزا، سویا و کنجد در نقاط مختلف کشور با همکاری کارشناسان مراکز تحقیقات و سازمان‌های جهادکشاورزی با نهایت دقت و حساسیت بر مبنای پهنه‌های ACZ تهیه شد. با انجام فرایندهای ذکر شده، واحدهای خاک در دشت‌های آبی کشور مرزبندی گردید.

محاسبات ارزیابی تناسب اراضی و تهیه نقشه‌ها

در نهایت برای تعیین شاخص تناسب اراضی در واحدهای خاک، مشخصه‌های آب و هوائی شامل درجه حرارت، رطوبت‌نسبی و تابش خورشید، مشخصه‌های خاک و زمین‌نما برای کشت آبی آفتابگردان، سویا، کلزا و کنجد با روش پارامتریک ریشه دوم بر پایه رابطه ۱، با استفاده از نرم‌افزار ارزیابی تناسب اراضی تهیه شده در موسسه تحقیقات خاک و آب و با توجه به جدول‌های نیازمندی‌های اقلیم، خاک و زمین‌نمای محصولات ذکر شده (سیدجلالی و همکاران، ۲۰۱۹) مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس نقشه‌های تناسب اراضی در محیط GIS تهیه شدند.

$$LSI = R_{min}\sqrt{\frac{A}{100}\times\frac{B}{100}\times\cdots} \quad (1)$$

در رابطه فوق: LSI؛ شاخص تناسب اراضی، R_{min} درجه حداقل، A،B و ... درجات مربوط به سایر مشخصه‌ها می‌باشد.

ارزیابی دقت محاسبات انجام شده

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی برای محصولات مورد بررسی، مقادیر مشخصه‌های استفاده شده در محاسبه شاخص تناسب اراضی مورد تجزیه آماری قرار گرفت. برای این منظور تجزیه واریانس چندمتغیره بر پایه آزمون لامبدای ویلکس برای بررسی اختلاف کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. آزمون لامبدای ویلکس، معمول‌ترین و رایج‌ترین آزمون برای بررسی اختلاف آماری بین گروهی است. هر چه مقدار ارزش آماره این آزمون به صفر نزدیک باشد نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های مورد بررسی و برعکس هر چه به یک نزدیک‌تر شود دلالت بر عدم تفاوت مشخصه‌ها بین گروه‌ها می‌باشد (مک‌کلاو و سینسیچ، ۲۰۱۲). همچنین برای بررسی اثرات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی، آزمون لِون[2] و مقایسه میانگین بر پایه آزمون LSD[3] انجام شد.

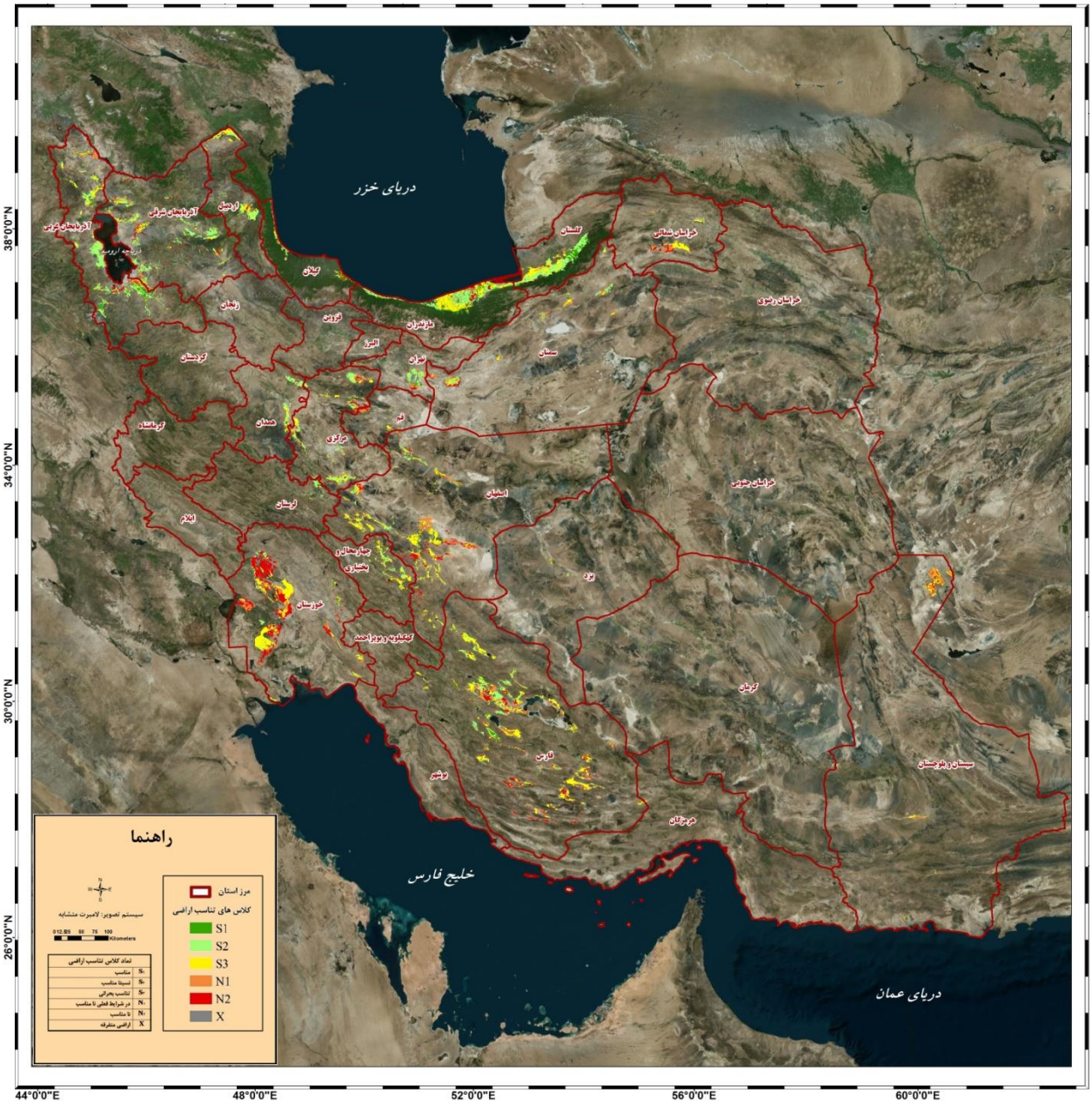
[1] Agro-Climatic Zones
[2] Leven
[3] Least significant difference

نتایج و بحث

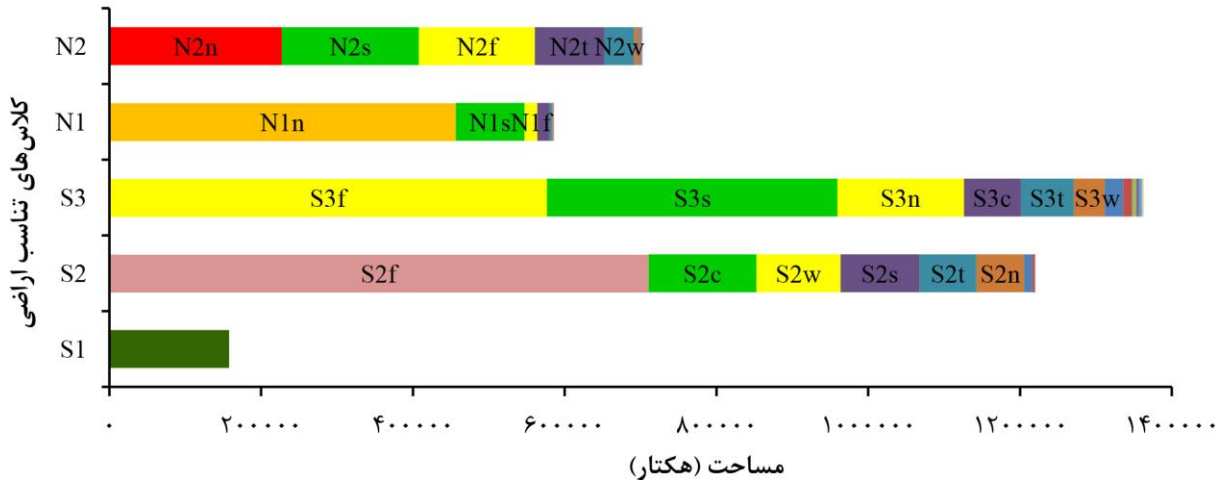
آفتابگردان

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت آبی آفتابگردان در اراضی ۷۳۰۱ واحد خاک به مساحت چهار میلیون هکتار از دشت‌های آبی کشور، مشخصه‌های دارای محدودیت، شامل شیب، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، pH، EC، ESP و اقلیم انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های ذکر شده با اعمال ضرایب وزنی عمق استخراج شده و با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌ها (اقلیم، خاک و زمین‌نما) به درجه تبدیل شد، سپس شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه گردید. پس از انجام محاسبات ارزیابی تناسب اراضی، کلاس تناسب اراضی در واحدهای نقشه تعیین شد که توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی آفتابگردان در دشت‌های آبی کشور در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که حدود ۱۵۸ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۱/۲ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۱/۳۶ میلیون هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۵۸۵ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۷۰۲ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی آفتابگردان می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۱- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی آفتاب‌گردان در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۲- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای آفتاب‌گردان

با توجه به شکل ۲ و نتایج به‌دست آمده، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت آفتابگردان با عامل حاصلخیزی pH خاک محدود شده‌اند و عوامل محدودکننده دیگر به ترتیب اقلیم (متوسط دما در سیکل رشد)، زهکشی، مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل بافت خاک و آهک، شیب، شوری و قلیائیت می‌باشند. محدودیت‌های کلاس تناسب S3 در دشت‌های آبی کشور برای کشت آفتابگردان به ترتیب مشخصه‌های pH خاک، بافت و آهک بیشترین وسعت و شوری و قلیائیت خاک، اقلیم (متوسط دما و رطوبت نسبی در سیکل رشد)، شیب و سیلگیری در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در کلاس تناسب N1 شوری و قلیائیت بیشترین وسعت اراضی واقع شده در این کلاس را محدود کرده‌اند. پارامترهای شوری و قلیائیت، بافت و در برخی واحدها مقدار آهک و گچ خاک، pH خاک و شیب مهمترین عوامل محدودکننده کلاس N2 بوده که وسعت زیادی از اراضی قرار گرفته در این کلاس برای کشت آبی آفتابگردان توسط شوری و قلیائیت و بافت محدود شده است.

تحلیل آماری نتایج

تجزیه واریانس چندمتغیره[1] بین کلاس‌های تناسب اراضی برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه انجام شد، آزمون چندمتغیره ذکر شده در تحقیقاتی برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های حاصلخیزی در نقشه حاصلخیزی خاک (دواتگر و همکاران، ۲۰۱۲؛ تریپاتی و همکاران، ۲۰۱۵ و بیهرا و همکاران، ۲۰۱۸)، دقت واحدهای نقشه خاک تفکیک شده (اسفندیارپور بروجنی و همکاران، ۲۰۱۰) و کلاس‌های تناسب اراضی تفکیک شده برای محصولات (سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۹؛ نویدی و همکاران، ۱۴۰۱، سیدمحمدی و همکاران، ۱۴۰۱) استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره با توجه به مقدار آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشته و تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است (جدول ۱)، مقدار آماره آزمون لامبدای ویلکس هر چقدر به صفر نزدیک باشد نشان دهنده اختلاف بیشتر بین گروه‌های (در این پژوهش کلاس‌های

[1]Multivariate analysis of variance (MANOVA)

تناسب اراضی) مورد بررسی است. همچنین همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِوِن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲)، نتایج مشخص کرد که مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها از نظر آزمون لِوِن می‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی آفتاب‌گردان (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۳۶	۲۷۳/۹	۳۶	۲۷۳۱۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۲- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب آفتاب‌گردان

مشخصات	F	df1	df2	P-value
شیب	۵۶۳/۹	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۱۴۷/۲	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
بافت	۶۶۶/۶	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
آهک	۱۷۰	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
گچ	۴۰۲/۳	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۳۴/۴	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
شوری	۳۷۰/۶	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۱۳۳۶/۴	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
اقلیم	۲۲۱/۷	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱

بررسی اثرات مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده برای کشت آبی آفتابگردان در سطح کشور نشان می‌دهد که همه مشخصه‌های مورد بررسی دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از ۹۹ درصد بوده‌اند (جدول ۳). برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD[1] در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۴). لازم به ذکر است که برای مقایسه میانگین با توجه به کیفی بودن ویژگی‌های سیلگیری، زهکشی و چند مشخصه بودن بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه) و اقلیم (شامل دما، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی) از مقادیر درجه[2] استخراج شده برای این مشخصه‌ها استفاده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به مشخصه‌های مورد بررسی به‌ویژه آهک و اقلیم می‌باشد. همچنانکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقادیر مشخصه‌های محدودکننده (دارای اثر منفی در کشت و توسعه محصول) شامل زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، pH، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه‌شان کاهش یافته است.

[1] Least Significant Difference

[2] Rating

جدول ۳- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب آفتاب‌گردان

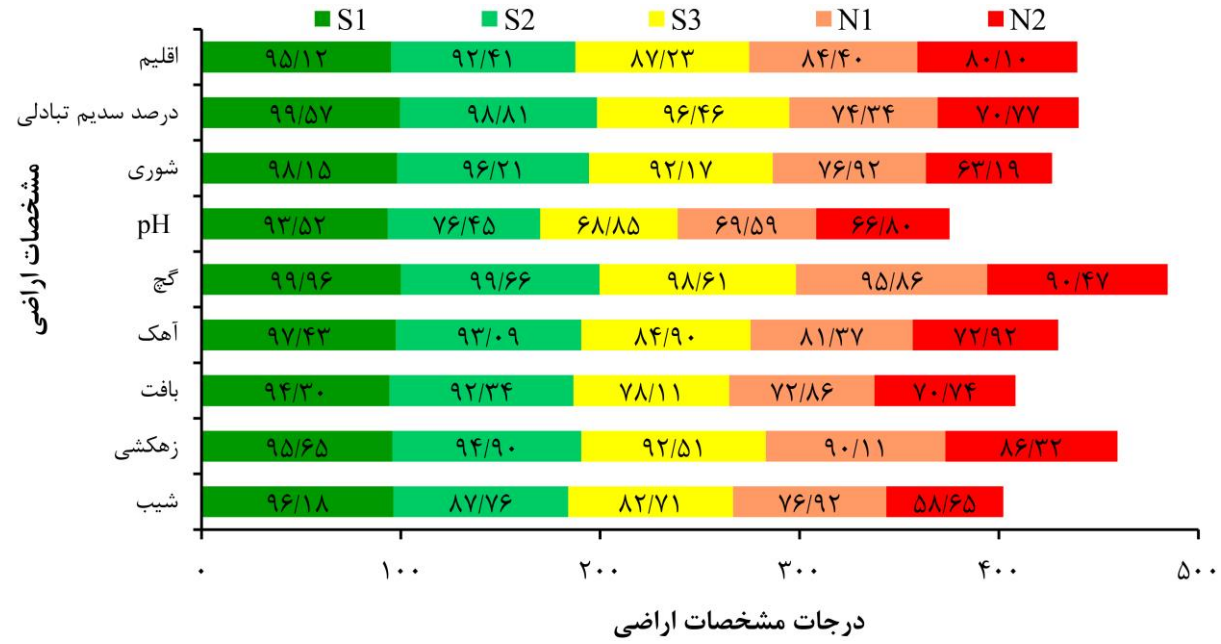
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	شیب	۷۴۷۷/۷	۴	۱۸۶۹/۴	۳۱۴/۸	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۳۳۱۹۴	۴	۸۲۹۸/۵	۴۵/۱	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۴۶۲۴۶۸/۵	۴	۱۱۵۶۱۷/۱	۲۸۰/۷	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۲۶۵۲۶۳	۴	۶۶۳۱۵/۸	۲۱۵/۳	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۱۳۴۰۰/۸	۴	۳۳۵۰/۲	۱۲۰/۵	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۱۵۰/۸	۴	۳۷/۷	۲۵۰/۷	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۲۳۹۵۳۲/۸	۴	۵۹۸۸۳/۲	۱۷۵/۹	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۳۱۲۹۲۳/۹	۴	۷۸۲۳۰/۹	۳۳۴/۹	<۰/۰۰۰۱
	اقلیم	۷۲۱۹۲/۴	۴	۱۸۰۴۸/۱	۱۰۷/۶	<۰/۰۰۰۱

جدول ۴- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای آفتاب‌گردان

کلاس	شیب (٪)	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	واکنش خاک	شوری (dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۷^{e}	۹۵/۶^{a}	۹۴/۳^{a}	۸/۸^{e}	۰/۰۱^{c}	۶/۹۷^{d}	۰/۷^{d}	۰/۷^{d}	۹۵/۱^{a}
S2	۱/۶^{d}	۹۴/۹^{a}	۹۲/۳^{a}	۱۹/۱^{d}	۰/۱۱^{c}	۷/۶۱^{c}	۱/۲^{d}	۱/۴^{d}	۹۲/۴^{b}
S3	۲/۱^{c}	۹۲/۵^{b}	۷۸/۱^{b}	۲۹/۱^{c}	۰/۴۳^{c}	۷/۷۹^{b}	۲/۴^{c}	۲/۷^{c}	۸۷/۲^{c}
N1	۲/۷^{b}	۹۰/۱^{c}	۷۲/۹^{c}	۳۱/۲^{b}	۱/۹۳^{b}	۷/۷۹^{b}	۱۱^{b}	۱۲/۸^{b}	۸۴/۴^{d}
N2	۳/۹^{a}	۸۶/۳^{d}	۷۰/۷^{d}	۳۴/۳^{a}	۳/۳۲^{a}	۷/۸۵^{a}	۱۴/۵^{a}	۱۵/۵^{a}	۸۰/۱^{e}

*برای خصوصیات زهکشی، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

مقایسه مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی با توجه به شکل ۳ نشان می‌دهد که در کلاس تناسب S2 شدت محدودکنندگی مشخصه‌های اسیدیته و شیب، در کلاس تناسب S3، اسیدیته و بافت خاک، کلاس تناسب N1 به ترتیب شوری، اسیدیته، بافت و قلیائیت و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای شیب، اسیدیته، بافت خاک، آهک، شوری و قلیائیت از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود اسیدیته خاک در همه کلاس‌های تناسب برای کشت آفتاب‌گردان دارای محدودیت بوده و نشان دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه ذکر شده می‌باشد که مدیریت ویژه‌ای بایستی اعمال گردد.

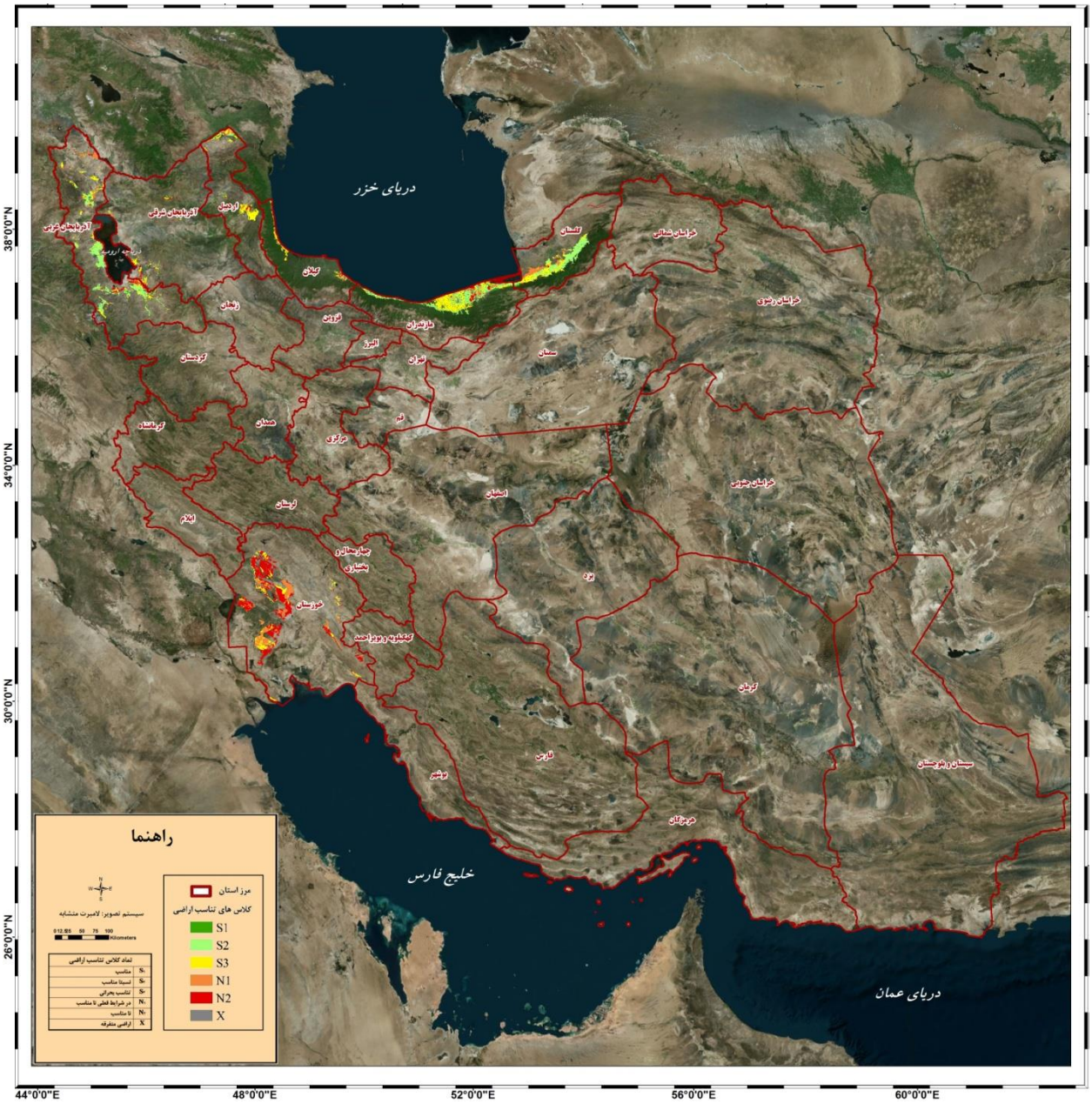


شکل ۳- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای آفتاب‌گردان

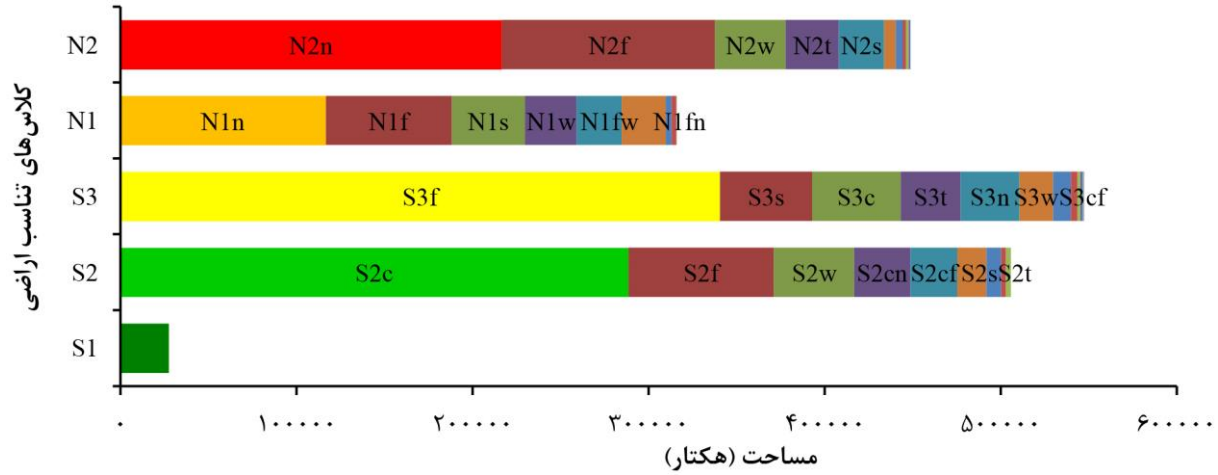
سویا

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

مشخصه‌های دارای محدودیت، شامل شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، pH، CEC، کربن آلی، EC، ESP و اقلیم برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت آبی سویا در ۲۶۰۰ واحد خاک از اراضی دشت‌های آبی کشور، انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های خاک در واحدهای خاک به مساحت حدود ۱/۸ میلیون هکتار با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردیده سپس با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌ها به درجه تبدیل شد، و در نهایت شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه گردید. پس از انجام محاسبات ارزیابی تناسب اراضی، کلاس تناسب اراضی در واحدهای نقشه تعیین شد که توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی سویا در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که ۲۷ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۵۰۰ هزار هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۵۴۸ هزار هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۳۱۶ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۴۵۰ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی سویا می‌باشند (شکل ۵).



شکل ۴- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی سویا در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۵- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای سویا

همچنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، بیشترین وسعت اراضی مورد بررسی برای کشت آبی سویا در کلاس تناسب S2 با عوامل اقلیمی محدود شده‌اند که این عوامل شامل رطوبت نسبی و ساعات آفتابی می‌باشند. فاکتورهای محدودکننده دیگر در این کلاس شامل کربن آلی، زهکشی و شوری می‌باشند. در کلاس تناسب S3، محدودکننده‌ترین پارامتر با بیشترین مساحت، کربن‌آلی خاک بوده و مشخصه‌های بافت، رطوبت نسبی، ساعات افتابی، شیب و شوری و قلیائیت خاک در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در کلاس‌های N1 و N2 شوری و قلیائیت وسعت زیادی از اراضی را برای کشت آبی سویا محدود کرده است. عامل محدودکننده دیگر در کلاس N1 کربن آلی خاک و در کلاس N2، pH خاک می‌باشد. مشخصه‌های بافت، زهکشی و شیب در مراتب بعدی قرار دارند.

تحلیل آماری نتایج

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه، تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره با توجه به آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشته (جدول ۵) و تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است. همچنین آزمون لِوِن برای بررسی همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی استفاده شد (جدول ۶)، که بر اساس نتایج آزمون، مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند این بدان معنی است که بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته و تفکیک کلاس‌ها با دقت انجام شده است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی سویا (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۲۸	۸۲/۲	۴۸	۹۹۵۵	<۰/۰۰۰۱

جدول ۶- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب سویا

مشخصات	F	df1	df2	P-value
اقلیم	۳۱/۸	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
شیب	۸۳۲/۰۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
سیلگیری	۹۳/۲	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۱۱۸/۴	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
بافت	۱۰۶	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
آهک	۷۶/۴	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
گچ	۷۲/۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری	۳۱/۷	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۱۱/۴	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
کربن آلی	۴/۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
شوری	۱۶۲/۹	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۴۳۲/۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱

بررسی اثرات مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده برای کشت آبی سویا در اراضی مورد بررسی نشان می‌دهد که همه مشخصه‌های مورد بررسی دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از ۹۹ درصد بوده‌اند (جدول ۷). برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میان مشخصه‌های مورد بررسی کربن‌آلی، شیب، آهک و اقلیم بین همه کلاس‌های تناسب اراضی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. شوری و قلیائیت خاک بین کلاس‌های S1، S2 و S3 اختلافشان معنی‌دار نشده و بیشترین اثرگذاری این دو فاکتور در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 بوده است. با توجه به جدول ۸، مقادیر مشخصه‌های دارای اثر منفی در کشت و توسعه محصول شامل سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، اسیدیته، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه‌شان کاهش یافته است.

جدول ۷- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب سویا

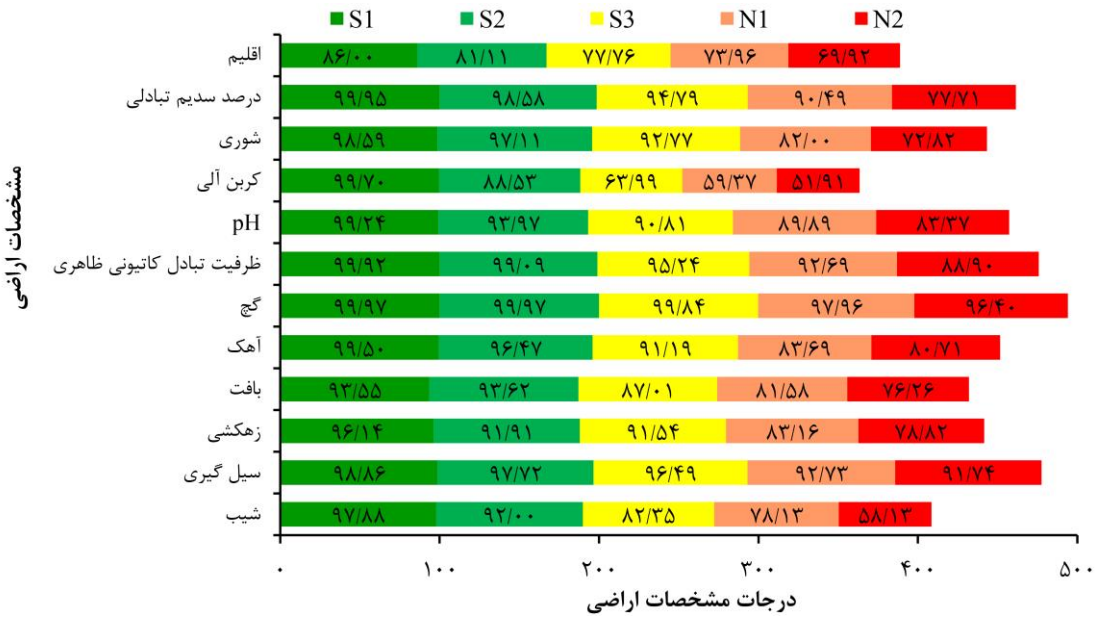
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	اقلیم	۳۳۴۸۶/۴	۴	۸۳۷۱/۶	۶۳/۲	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۲۶۰۸/۱	۴	۶۵۲	۱۴۷/۳	<۰/۰۰۰۱
	سیلگیری	۱۵۴۷۱/۲	۴	۳۸۶۷/۸	۲۱/۲	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۴۳۹۲۹/۶	۴	۱۰۹۸۲/۴	۳۳	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۶۹۳۹۹/۹	۴	۱۷۳۴۹/۹	۵۵/۴	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۱۰۵۲۴۹/۳	۴	۲۶۳۱۲/۳	۱۰۰/۲	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۳۰۷۸/۷	۴	۷۶۹/۷	۱۹/۹	<۰/۰۰۰۱
	ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری	۹۶۰۱۱۲	۴	۲۴۰۰۲۸	۸۹/۸	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۳۹/۶	۴	۹/۹	۴۳/۶	<۰/۰۰۰۱
	کربن آلی	۲۶۳/۳	۴	۶۵/۸	۵۸/۹	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۷۸۳۲۴/۲	۴	۱۹۵۸۱	۶۹/۷	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۱۰۸۱۱۶/۲	۴	۲۷۰۲۹	۱۲۳/۷	<۰/۰۰۰۱

جدول ۸- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای سویا

کلاس	شیب (٪)	سیلگیری	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری	واکنش خاک	کربن آلی(٪)	شوری (dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۴^{e}	۹۸/۸^{a}	۹۶/۱^{a}	۹۳/۵^{a}	۳^{e}	۰/۰۵^{c}	۱۴۲^{a}	۷/۰۷^{d}	۲/۴^{a}	۰/۶^{d}	۰/۰۸^{d}	۸۶^{a}
S2	۱/۲^{d}	۹۷/۷^{a}	۹۱/۹^{b}	۹۳/۶^{a}	۱۲/۳^{d}	۰/۰۶^{c}	۸۷/۸^{b}	۷/۴۳^{c}	۱/۷^{b}	۱/۱^{d}	۰/۷^{d}	۸۱/۱^{b}
S3	۱/۹^{c}	۹۶/۵^{a}	۹۱/۵^{b}	۸۷^{b}	۲۰/۹^{c}	۰/۲۶^{c}	۷۴^{c}	۷/۶۶^{b}	۱^{c}	۲/۹^{c}	۲/۸^{c}	۷۷/۷^{c}
N1	۲/۶^{b}	۹۲/۷^{b}	۸۳/۱^{c}	۸۱/۶^{c}	۲۶/۶^{b}	۱/۸۶^{b}	۶۴^{d}	۷/۶۹^{b}	۰/۷^{d}	۷/۲^{b}	۵/۸^{b}	۷۳/۹^{d}
N2	۳/۸^{a}	۹۱/۷^{b}	۷۸/۸^{d}	۷۶/۳^{d}	۳۱/۱^{a}	۲/۶^{a}	۶۲^{d}	۷/۷۸^{a}	۰/۳^{e}	۱۳/۶^{a}	۱۶/۱^{a}	۶۹/۹^{e}

*برای خصوصیات زهکشی، سیل‌گیری، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

بررسی مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی در شکل ۶ نشان می‌دهد که شدت محدودکنندگی مشخصه‌های اقلیم و کربن‌آلی در کلاس‌های تناسب S2 و S3، در کلاس تناسب N1، کربن‌آلی، اقلیم، شیب، بافت و آهک و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای کربن‌آلی، شیب، شوری، اقلیم و قلیائیت از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود کربن‌آلی خاک و خصوصیات اقلیمی از جمله رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در همه کلاس‌های تناسب برای کشت سویا دارای محدودیت بوده و نشان دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه‌های ذکر شده می‌باشد که در نظر گرفتن این موارد و بهبود آن‌ها به ویژه کربن‌آلی خاک در جهت مدیریت ویژه محصول در کلاس‌های تناسب باعث افزایش عملکرد خواهد شد.

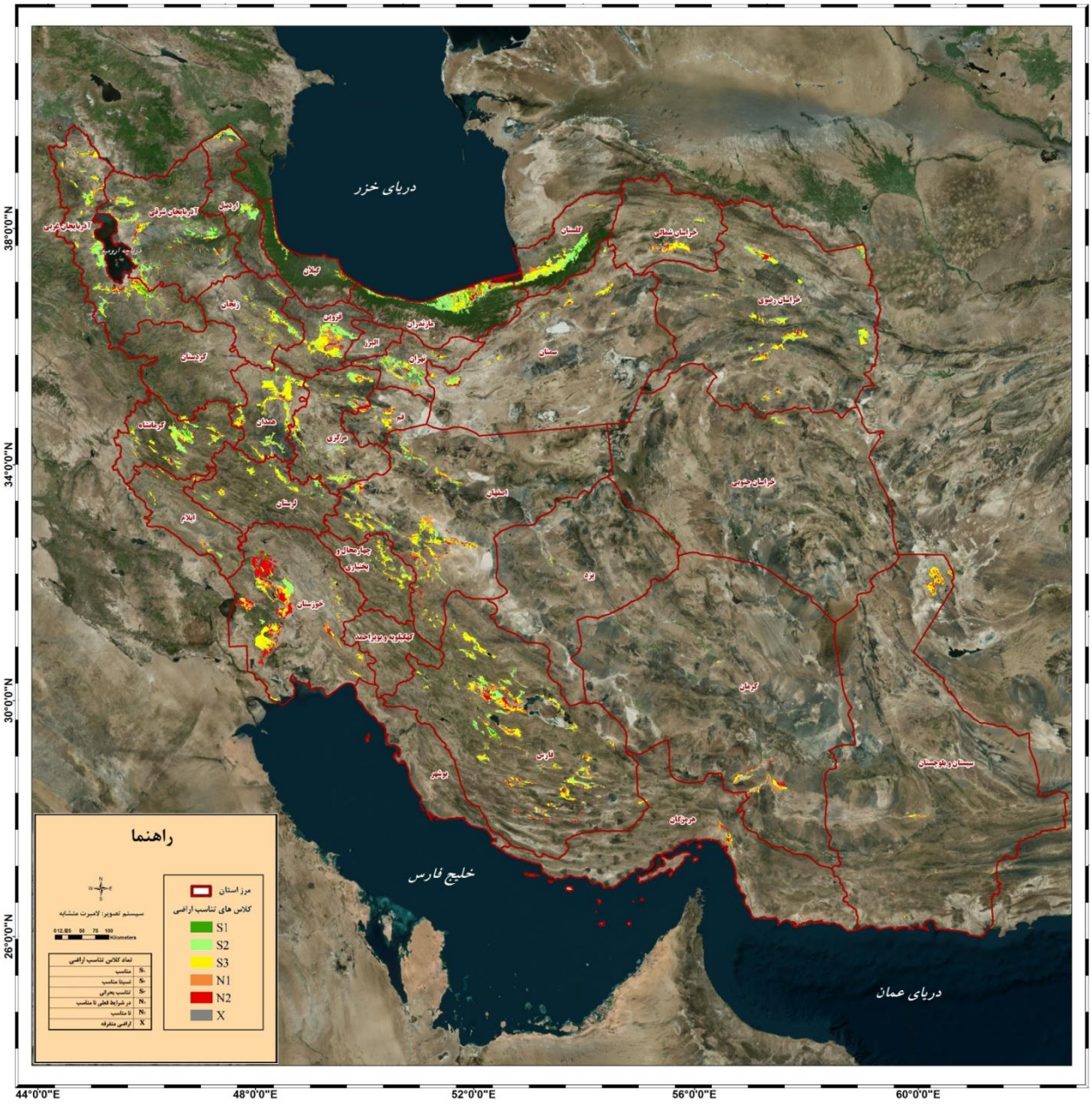


شکل ۶- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای سویا

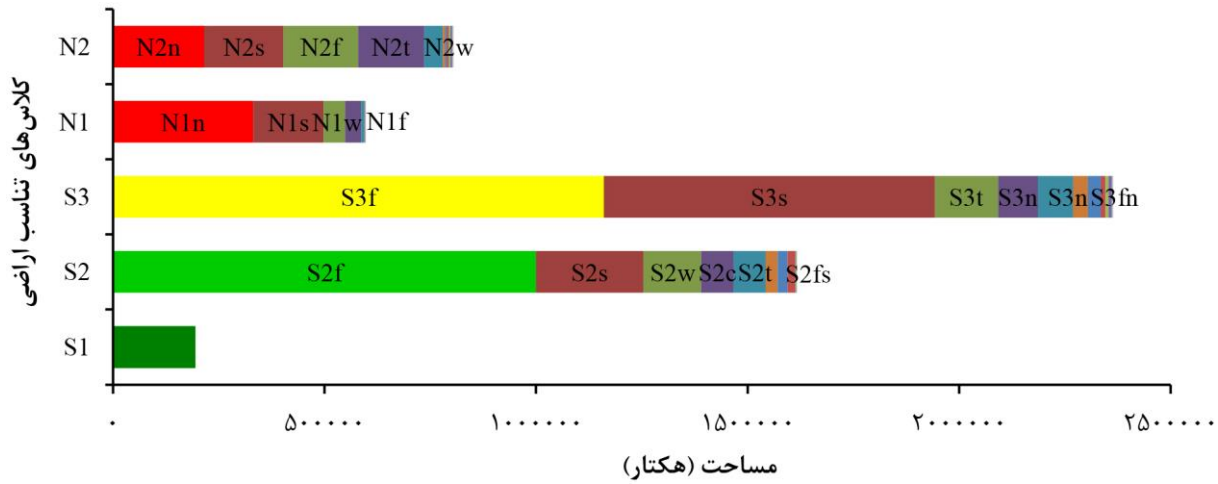
کلزا

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت آبی کلزا در اراضی ۱۰۲۱۰ واحد خاک به وسعت ۵/۵ میلیون هکتار در دشت‌های آبی کشور، مشخصه‌های دارای محدودیت، شامل اقلیم، شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، اسیدیته، EC و ESP انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های ذکر شده با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردیده، با تعیین درجه بر اساس جدول‌های نیازمندی‌ها، شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک، محاسبه گردید. پس از مشخص شده کلاس تناسب اراضی در واحدهای خاک، نقشه تناسب تهیه شده که در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که ۱۹۵ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۱/۶ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۲/۴ میلیون هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۵۹۶ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۸۰۴ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی کلزا می‌باشند (شکل ۸).



شکل ۷- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی کلزا در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۸- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای کلزا

تحلیل آماری نتایج

با توجه به شکل ۸ و نتایج به‌دست آمده، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت کلزا با عامل حاصلخیزی یعنی pH خاک محدود شده‌اند و عوامل محدودکننده دیگر به ترتیب خصوصیات فیزیکی شامل بافت و آهک، زهکشی، اقلیم (متوسط دما در زمان گلدهی) و شیب می‌باشند. بیشترین مساحت محدود شده در کلاس تناسب S3 مربوط به فاکتورهای pH، بافت و آهک بوده و باقی اراضی قرار گرفته در این کلاس توسط پارامترهای شیب، شوری و قلیائیت و زهکشی محدود شده‌اند. شوری و قلیائیت وسعت زیادی از اراضی قرار گرفته در کلاس N1 را محدود کرده و بافت خاک و زهکشی در مراتب بعدی قرار گرفته‌اند. در کلاس تناسب N2 شوری و قلیائیت، بافت، pH و شیب بیشترین وسعت اراضی واقع شده در این کلاس را محدود کرده‌اند.

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه، تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. نتایج مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۹) بنابراین با توجه به تجزیه آماری فوق، می‌توان گفت که تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است. بررسی همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِوِن نشان داد (جدول ۱۰) که مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها می‌باشد.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی کلزا (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	df_H	F	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۳۴	۴۰	۳۲۱/۴	۳۸۶۶۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۰- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب کلزا

مشخصات	F	df1	df2	P-value
اقلیم	۷۰	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
شیب	۹۶۸/۳	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
سیلگیری	۱۷۴/۲	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۲۲۷/۹	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
بافت	۱۳۱۵	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
آهک	۱۹۹/۲	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
گچ	۲۵۱/۶	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۵۷/۳	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
شوری	۵۵۴/۶	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۱۱۵۵/۵	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱

با توجه به جدول ۱۱، همه مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از ۹۹ درصد بر روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده بوده‌اند. برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۱۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میان مشخصه‌های مورد بررسی شیب، بافت و آهک بین همه کلاس‌های تناسب اراضی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. همچنانکه در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود مقادیر مشخصه‌های دارای اثر منفی در رشد و توسعه محصول کلزا شامل سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، pH، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و مقدار درجه‌شان کاهش یافته است.

جدول ۱۱- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب اراضی برای کلزا

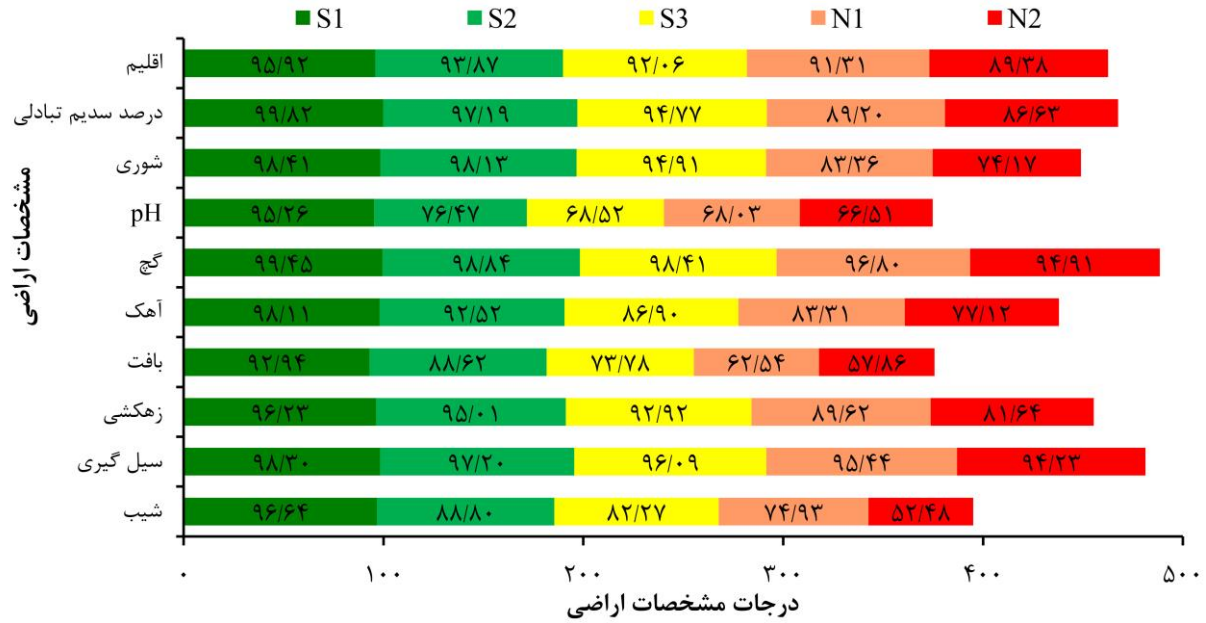
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	اقلیم	۷۹۹۶/۵	۴	۱۹۹۹/۱	۳۱/۳	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۱۳۳۴۷/۵	۴	۳۳۳۶/۹	۶۲۸/۸	<۰/۰۰۰۱
	سیلگیری	۱۲۰۴۰/۴	۴	۳۰۱۰	۴۴/۵	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۴۶۰۷۶/۵	۴	۱۱۵۱۹/۱	۷۱/۷	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۱۱۰۰۰۳۸	۴	۲۷۵۰۰۹/۵	۶۴۳/۶	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۱۸۵۵۱۴/۷	۴	۴۶۳۷۸/۷	۱۶۰/۱	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۷۷۷۲/۴	۴	۱۹۴۳/۱	۸۰/۲	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۲۰۱/۵	۴	۵۰/۴	۳۵۸/۴	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۲۶۰۲۷۲/۸	۴	۶۵۰۶۸/۲	۲۲۰/۲	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۲۴۲۲۲۹/۵	۴	۶۰۵۵۷/۴	۲۶۹/۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۲- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای کلزا

کلاس	شیب (٪)	سیلگیری	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	واکنش خاک	شوری(dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۶^{e}	۹۸/۳^{a}	۹۶/۲^{a}	۹۲/۹^{a}	۶/۵^{e}	۰/۱۸^{d}	۶/۸۵^{d}	۱/۱^{d}	۰/۵۴^{e}	۹۵/۹^{a}
S2	۱/۵^{d}	۹۷/۲^{a}	۹۵^{a}	۸۸/۶^{b}	۲۰/۷^{d}	۰/۳۰^{d}	۷/۶۲^{c}	۱/۵^{d}	۲/۱^{d}	۹۳/۸^{b}
S3	۲/۱^{c}	۹۶/۱^{b}	۹۲/۹^{b}	۷۳/۸^{c}	۲۷/۱^{c}	۰/۹۴^{c}	۷/۸۱^{b}	۲/۶^{c}	۳/۸^{c}	۹۲^{c}
N1	۲/۹^{b}	۹۵/۴^{c}	۸۹/۶^{c}	۶۲/۵^{d}	۲۸/۹^{b}	۲/۱^{b}	۷/۸۳^{b}	۱۱/۸^{b}	۱۰/۲^{b}	۹۱/۳^{d}
N2	۴/۴^{a}	۹۴/۲^{d}	۸۱/۲^{d}	۵۷/۹^{e}	۳۰/۸^{a}	۳/۷^{a}	۷/۸۶^{a}	۱۳/۹^{a}	۱۳/۸^{a}	۸۹/۳^{e}

*برای خصوصیات سیل‌گیری، زهکشی، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

بررسی مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی ارائه شده در شکل ۹، نشان می‌دهد که شدت محدودکنندگی مشخصه‌های pH در کلاس تناسب S2، pH، بافت و شیب در کلاس تناسب S3، در کلاس تناسب N1، بافت، pH و شیب و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای شیب، بافت، pH شوری و آهک از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود pH و بافت خاک در همه کلاس‌های تناسب برای کشت کلزا دارای محدودیت بوده و نشان‌دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه‌های ذکر شده می‌باشد که در نظر گرفتن این موارد و بهبود آن‌ها به ویژه pH خاک در کلاس‌های تناسب باعث افزایش عملکرد خواهد شد.

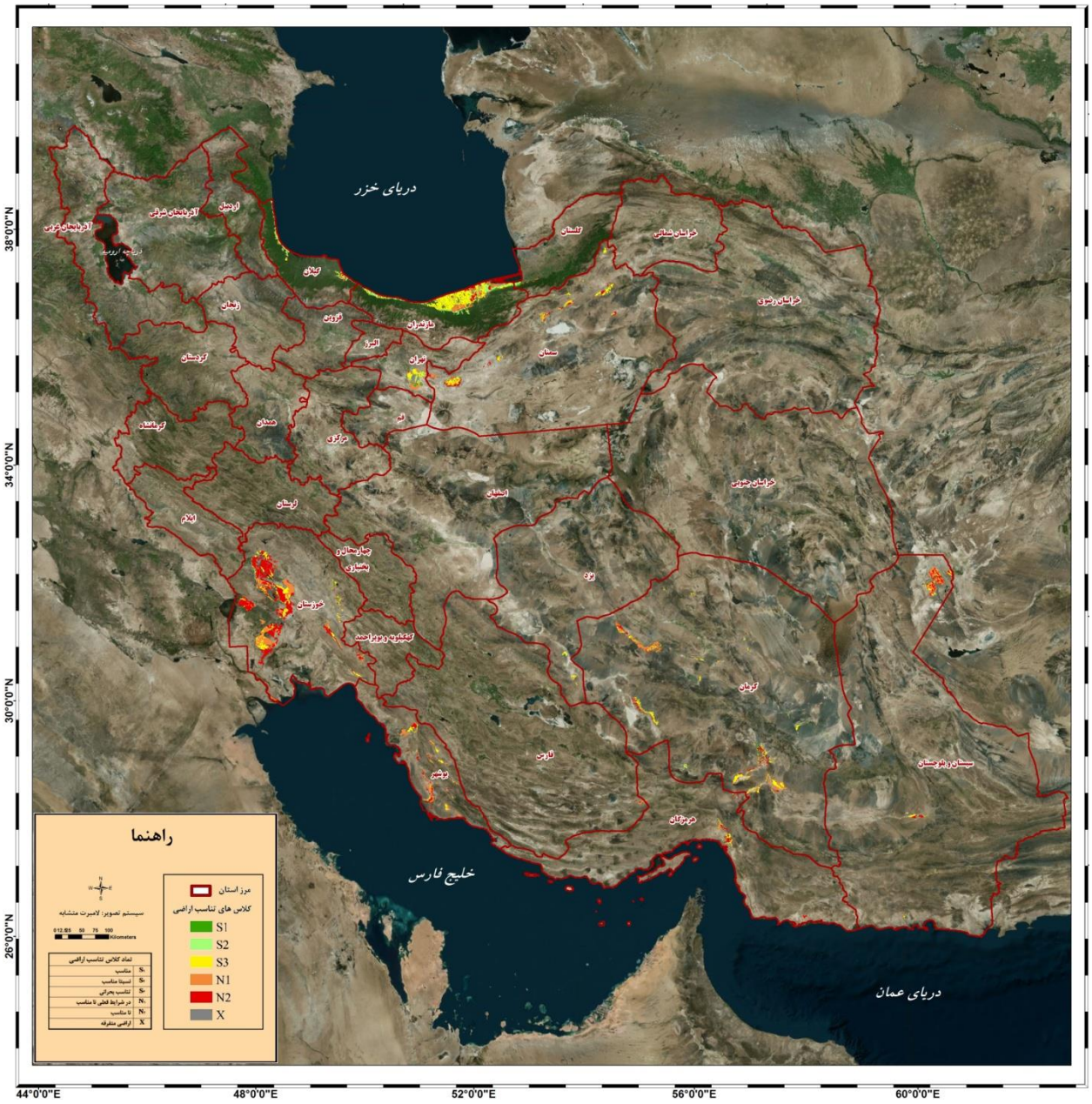


شکل ۹- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای کلزا

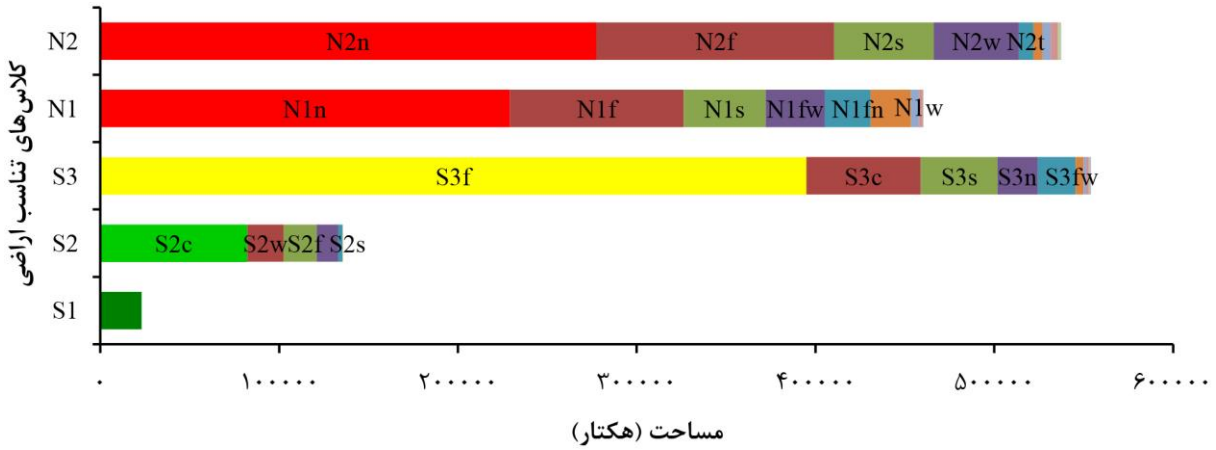
کنجد

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

مشخصه‌های اقلیم، شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، pH، کربن‌آلی، EC و ESP جهت کشت آبی کنجد دارای محدودیت بودند که برای ارزیابی تناسب اراضی در ۲۵۶۲ واحد خاک از اراضی دشت‌های آبی کشور، انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های خاک در واحدهای خاک به مساحت حدود ۱/۷ میلیون هکتار با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردیده، سپس با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌ها به درجه تبدیل شد و در نهایت شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه و کلاس تناسب تعیین گردید که توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی کنجد در شکل ۱۰ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که ۲۳ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۱۳۵ هزار هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۵۵۴ هزار هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۴۶۰ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۵۳۷ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی سویا می‌باشند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی کنجد در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۱۱- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای کشت کنجد

تحلیل آماری نتایج

همچنانکه در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی مورد مطالعه در دشت‌های آبی کشور برای کشت کنجد با عامل اقلیمی رطوبت نسبی در سیکل رشد محدود شده‌اند. عوامل محدودکننده زهکشی، pH و بافت در مراتب بعد قرار گرفته‌اند. در اراضی واقع شده در کلاس تناسب S3 برای کشت آبی کنجد، محدودکننده‌ترین عوامل از نظر بیشترین وسعت کربن‌آلی خاک و pH می‌باشند. در این کلاس عوامل محدودکننده دیگر به ترتیب اقلیم، بافت، آهک، شوری و قلیائیت و زهکشی می‌باشند. در کلاس‌های تناسب N1 و N2 بیشترین مساحت اراضی مورد بررسی توسط شوری و قلیائیت خاک محدود شده است. مشخصه‌های محدودکننده مؤثر بعدی در کلاس تناسب N1 به ترتیب pH، کربن‌آلی خاک، بافت، آهک و سیلگیری و در کلاس تناسب N2 به ترتیب pH، بافت، آهک، گچ و سیلگیری می‌باشند.

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب جهت کشت آبی کنجد، تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه انجام شد. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره بر پایه آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشته و تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است (جدول ۱۳). همچنین بررسی همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِوِن مشخص کرد که مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها از نظر آزمون لِوِن می‌باشد (جدول ۱۴).

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی کنجد (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۴۳	۵۴/۳	۴۴	۹۷۴۶	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۴- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای مشخصات بین کلاس‌های تناسب کنجد

مشخصات	F	df1	df2	P-value
اقلیم	۷۳/۳	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
شیب	۲۶/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
سیلگیری	۹۸/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۶۸/۵	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
بافت	۹۲/۵	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
آهک	۳۱/۳	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
گچ	۶۶/۴	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۱۸/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
کربن آلی	۱۱	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
شوری	۱۷۱/۸	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۴۲۸/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱

همه مشخصه‌های مورد بررسی برای کشت آبی کنجد دارای اثرات معنی‌دار با احتمال بیش از ۹۹ درصد روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده، بوده‌اند (جدول ۱۵). برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۱۴) که نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به مشخصه‌های مورد بررسی به‌ویژه بین کلاس‌های مناسب و نامناسب می‌باشد. همچنانکه در جدول ۱۶ مشاهده می‌شود مقادیر مشخصه‌های محدودکننده رشد و توسعه گیاه شامل زهکشی، سیلگیری، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، pH، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه متناظرشان کاهش یافته است.

جدول ۱۵- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب کنجد

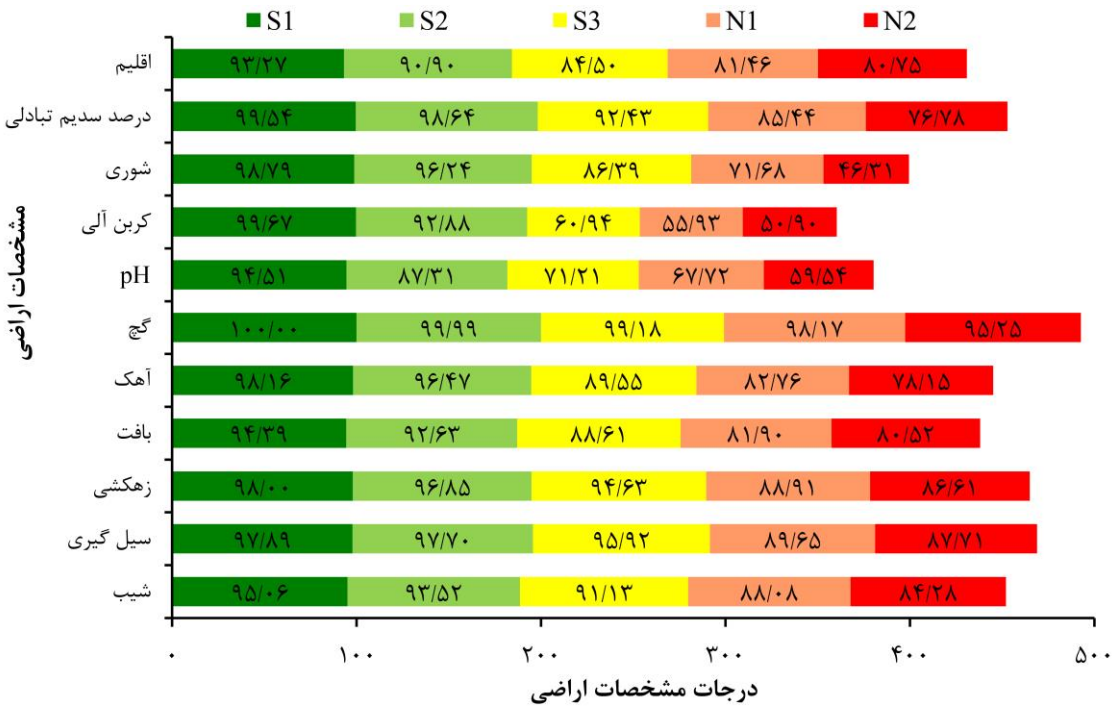
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	اقلیم	۱۲۴۹۹/۵	۴	۳۱۲۴/۸	۳۱/۵	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۴۹/۴	۴	۱۲/۳۵۹	۷/۷	<۰/۰۰۰۱
	سیلگیری	۲۵۲۶۶/۲	۴	۶۳۱۶/۵	۲۱/۲	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۳۲۳۴۷/۹	۴	۸۰۸۶/۹	۲۳/۸	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۳۲۳۷۸/۳	۴	۸۰۹۴/۶	۲۳/۶	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۶۰۳۸۹/۳	۴	۱۵۰۹۷/۳	۴۰/۳	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۵۱۵۸/۳	۴	۱۲۹۶	۲۰/۹	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۱۴۸/۷	۴	۳۷/۲	۱۲۲	<۰/۰۰۰۱
	کربن آلی	۳۸۲/۹	۴	۹۵/۷	۷۵/۵	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۲۸۶۱۲۱/۵	۴	۷۱۵۳۰/۴	۱۲۷/۸	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۱۱۳۱۱۶/۲	۴	۲۸۲۷۹/۱	۱۱۲/۷	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۶- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای کنجد

کلاس	شیب (٪)	سیلگیری	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	واکنش خاک	کربن آلی(٪)	شوری (dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۹^{d}	۹۷/۹^{a}	۹۸^{a}	۹۴/۴^{a}	۵/۵^{e}	۰/۰۰۴^{d}	۶/۹۳^{d}	۲/۴^{a}	۰/۴۸^{d}	۰/۵۸^{d}	۹۳/۳^{a}
S2	۱/۰۳^{d}	۹۷/۷^{a}	۹۶/۸^{a}	۹۲/۶^{a}	۱۰/۴^{d}	۰/۰۲^{d}	۷/۱۲^{d}	۲/۲^{a}	۱/۰۹^{d}	۰/۷۳^{d}	۹۰/۹^{a}
S3	۱/۳^{c}	۹۵/۹^{a}	۹۴/۶^{a}	۸۸/۶^{b}	۲۱/۲^{c}	۰/۹۸^{c}	۷/۶۸^{c}	۰/۸۶^{b}	۳/۲۸^{c}	۲/۶۵^{c}	۸۴/۵^{b}
N1	۱/۵^{b}	۸۹/۶^{b}	۸۸/۹^{b}	۸۱/۹^{c}	۲۶/۷^{b}	۱/۹۶^{b}	۷/۸۲^{b}	۰/۶۱^{c}	۹/۴۸^{b}	۴/۲۵^{b}	۸۱/۴^{c}
N2	۱/۸^{a}	۸۷/۷^{b}	۸۶/۶^{c}	۸۰/۵^{c}	۲۹/۹^{a}	۳/۹۶^{a}	۸/۱^{a}	۰/۴۱^{d}	۲۵/۵۶^{a}	۱۵/۷۹^{a}	۸۰/۷^{c}

*برای خصوصیات زهکشی، سیل‌گیری، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

با توجه به شکل ۱۲، مقایسه مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی نشان می‌دهد که در کلاس تناسب S2 شدت محدودکنندگی مشخصه‌های اقلیم و pH، در کلاس تناسب S3، کربن‌آلی و pH خاک، کلاس تناسب N1 به ترتیب کربن‌آلی، pH، شوری، بافت و آهک و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای شوری، pH، کربن‌آلی، قلیائیت، بافت خاک و آهک از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود pH خاک در همه کلاس‌های تناسب غیر از S2 برای کشت کنجد دارای محدودیت بوده و نشان‌دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه ذکر شده می‌باشد که مدیریت ویژه‌ای بایستی اعمال گردد.



شکل ۱۲- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت کنجد

تحلیل مشخصه‌های اراضی در ارتباط با عملکرد گیاهان دانه روغنی در استان‌های شاخص

مشخصه‌های خاک در برخی استان‌ها بر اساس سطح زیرکشت و عملکرد آبی محصولات مورد بررسی قرار گرفت. استان گلستان دارای بیشترین سطح زیرکشت آفتابگردان با وسعت حدود ۶۰۰ هکتار و حدود ۸۳۰ تن تولید می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱). عمده‌ترین مشخصه‌های محدودکننده اراضی در کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل مقدار pH، بافت، زهکشی و شوری می‌باشد. همچنین بررسی کلاس‌های تناسب N1 و N2 برای کشت آبی آفتابگردان مشخص کرد که مهمترین عوامل محدودکننده

شوری خاک و شیب می‌باشد بررسی واحدهای خاک با محدودیت اسیدیته نشان داد که خاک این واحدها دارای مقدار آهک قابل ملاحظه و در برخی موارد دارای قلیائیت بیشتر می‌باشد که دلیل افزایش مقدار pH در این خاک‌ها بوده و باعث نامناسب شدن این خاک‌ها برای کشت آبی آفتابگردان شده است، منشاء آهک خاک‌های این مناطق عمدتاً به موادمادری آهکی آن‌ها برمی‌گردد. وجود مقداری آهک در خاک جهت بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک ضروری بوده اما در صورت افزایش مقدار کربنات کلسیم معادل خاک، مشکلات تغذیه‌ای زیادی به طور عمده از نظر عناصر کم مصرف، به ویژه عناصر روی و آهن در این خاک‌ها، بوجود می‌آورد، دلیل اصلی آن اینست که آبکافت یون‌های کربنات باعث ایجاد یون‌های OH در محلول خاک شده و pH خاک را کنترل و افزایش می‌دهد (اسپوزیتو، ۲۰۱۶؛ بلییم، ۲۰۱۷). همچنین این اثر آبکافت از طریق یون‌های سدیم نیز یکی دیگر از دلایل زیاد بودن pH خاک می‌باشد. در خاک‌های خراسان شمالی که دومین تولیدکننده آفتابگردان با وسعت ۳۷۸ هکتار و ۵۰۵ تن می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱) محدودیت‌ها غالباً شوری و قلیائیت، شیب و pH خاک است. در استان آذربایجان غربی که پس از خراسان شمالی بیشترین وسعت و تولید آفتابگردان را دارد، ۲۷۵ هکتار و ۴۱۰ تن، محدودیت‌ها عمدتاً ناشی از pH، شوری، بافت خاک، آهک و شیب می‌باشد. در خاک‌های آذربایجان غربی دلیل افزایش اسیدیته خاک بیشتر به آهکی بودن خاک ارتباط دارد. بررسی مشخصه‌های خاک‌های خراسان شمالی نشان می‌دهد که سدیمی بودن خاک واحدهای دارای pH بیشتر محرز است. محدودیت‌های شوری و قلیائیت در خراسان شمالی بیشتر از آذربایجان غربی و گلستان می‌باشد.

در بسیاری از خاک‌های مورد بررسی این استان‌ها به‌ویژه خراسان شمالی برای کشت آفتابگردان، به دلیل شدت تبخیر و تعرق و سیلابی شدن آب‌های جاری در فصول با بارندگی زیاد که در درازمدت دلیل افزایش مقدار شوری و قلیائیت بوده و باعث افت شدید کیفیت و پتانسیل خاک‌ها غالباً در واحدهای خاک با کلاس تناسب N2 شده است. شوری می‌تواند در جذب مواد مغذی، فعالیت میکروبیولوژیکی، رشد محصول و عملکرد محصولات زراعی مؤثر باشد (ویل و بردی، ۲۰۱۶). طبق مطالعات انجام شده (مونز و تستر، ۲۰۰۸؛ بویر و همکاران، ۲۰۰۸) تنش شوری می‌تواند رشد و عملکرد محصول را با سه مکانیسم کاهش داد: (۱) مهار اسمزی برای بزرگ شدن سلول، (۲) عدم تعادل تغذیه‌ای در کاتیون‌های خاص مورد نیاز برای عملکرد عادی سلول‌ها از طریق یون‌های K^+، Ca^{++} و NO_3^- و (۳) جذب Na^+ و Cl^- در یک مسیر کنترل نشده توسط گیاه. علاوه بر این، سدیم زیاد (قلیائیت خاک) رشد محصول را تحت تأثیر منفی قرار داده، به‌طوری که در این خاک‌ها پس از آبیاری یا بارندگی، رس‌های خاک بیش از حد متورم شده و به این دلیل، حرکت آب و هوا در این خاک‌ها بسیار محدود است (ویل و بردی، ۲۰۱۶).

بررسی مقدار عملکرد متوسط در کشت آبی آفتابگردان در دشت‌های آبی کشور (بی نام، ۱۴۰۱) نشان داد که بیشترین عملکرد در استان مازندران ۳/۵ تن در هکتار و کمترین آن در خراسان شمالی ۱/۳ تن در هکتار می‌باشد. تحلیل مقادیر مشخصه‌های واحدهای خاک تحت کشت آبی دو استان نشان داد که مهمترین محدودیت‌ها در مازندران مربوط به بافت خاک، pH و شیب می‌باشد در صورتیکه در خراسان شمالی محدودیت‌ها غالباً مربوط به شیب و pH خاک و بیشتر از همه مربوط به شوری و قلیائیت خاک است، همچنین در برخی واحدهای خاک که مقدار قلیائیت قابل ملاحظه بوده، pH خاک زیاد شده و جزء عوامل محدودکننده لحاظ شده است. در مجموع با توجه به شدت محدودیت‌های فوق می‌توان اذعان کرد که وسعت کلاس‌های مناسب در خراسان شمالی کمتر از مازندران باشد که نقشه تناسب اراضی (شکل ۱) این واقعیت را نشان می‌دهد و وسعت اراضی مناسب بویژه کلاس‌های تناسب S2 و S3 در استان مازندران بیشتر بوده که مقدار متوسط عملکرد در این استان مؤید این نتیجه می‌باشد.

بررسی اطلاعات و سطح زیرکشت اراضی تحت کشت آبی در کشور نشان می‌دهد که گلستان با سطح زیرکشت ۱۲/۵ هزار هکتار و عملکرد ۲۲/۵ هزار تن در تولید سویا در رتبه اول کشور قرار دارد (بی نام، ۱۴۰۱). کشت سویا در گلستان محدودیت اقلیمی ندارد. غالب محدودیت‌های در کلاس‌های S2 و S3 شامل زهکشی، کربن‌آلی، بافت خاک و محدودیت توپوگرافیکی (شیب) می‌باشد. در کلاس‌های نامناسب به ویژه کلاس N1 عمدتاً اراضی با شوری خاک محدود شده‌اند. در شرایط تنش شوری معمولاً رشد سویا از راه اسمزی و بر اثر پایین رفتن پتانسیل آب در محیط رشد ریشه یا به دلیل تاثیرات ویژه یونها در فرآیندهای متابولیسمی کاهش می‌یابد و از بارزترین اثرات کاهش رشد گیاه کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی بذر، سطح برگ و میزان کلروفیل است. بنابراین حتی در صورتی که میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ تغییر نکند، میزان رشد به دلیل کاهش میزان فتوسنتز در کل گیاه کاهش خواهد یافت. شوری کلرید سدیم بر روند انتقال آب و یونها، رشد رویشی و زایشی در سویا، تاثیر گذاشته، ضمن تغییر تعادل یونی و وضعیت مواد غذایی در گیاه، موجب کاهش وزن خشک و عملکرد گیاه می‌شود (سیکک و کاکیرلار، ۲۰۰۸؛ شو و همکاران، ۲۰۱۷؛ ساداک و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین تنش شوری سبب کاهش وزن صد دانه و قطر دانه در سویا شده و این مورد در اثر مختل شدن فرآیندهای موثر در حصول عملکرد دانه از جمله وزن و قطر دانه در مراحل رشد زایشی و پرشدن دانه‌ها اتفاق می‌افتد (کامروا و همکاران، ۲۰۱۶).

اردبیل با سطح زیرکشت ۹ هزار هکتار و ۲۲ هزار تن از نظر وسعت کشت در رتبه بعدی قرار گرفته است (بی نام، ۱۴۰۱). با وجود وسعت کمتر از گلستان مقدار تولید بیشتری داشته به طوری که متوسط عملکرد آن ۲/۴۳ تن در هکتار بیشتر از متوسط تولید گلستان، ۱/۷۹ تن در هکتار می‌باشد. دقت در نقشه تناسب سویا نشان می‌دهد که در اردبیل، منطقه پارس‌آباد، اراضی با کلاس تناسب S1 وجود داشته (شکل ۴) و بدون محدودیت یا محدودیت خیلی کم هستند از طرف دیگر در گلستان اراضی مناسب در کلاس S1 نیز وجود داشته (شکل ۴) ولی متوسط مقادیر شاخص اراضی در اردبیل بیشتر می‌باشد و این نشان دهنده کیفیت بهتر خاک‌های این منطقه است. کشت سویا در برخی مناطق اردبیل دارای محدودیت اقلیمی متوسط دما در سیکل رشد می‌باشد که یک محدودیت غیرقابل اصلاح می‌باشد. در این استان محدودیت‌ها در کلاس‌های S2 و S3 بیشتر بعلت کربن‌آلی و شیب بوده اما در کلاس‌های نامناسب عمدتاً شوری، شیب و تا حدودی بافت خاک می‌باشد. مازندران با ۱۹۹۰ هکتار و ۳/۹ هزار تن در رتبه سوم قرار گرفته (بی نام، ۱۴۰۱) که متوسط عملکرد آن ۱/۹۵ تن در هکتار بوده که نسبت به گلستان بیشتر می‌باشد. بررسی مقادیر شاخص اراضی در خاک‌های مناسب این استان نشان دهنده کیفیت بالای خاک آن نسبت به گلستان بوده و دلیل زیاد بودن متوسط عملکرد همین موضوع می‌باشد. غالب محدودیت‌ها در کلاس‌های S2 و S3 سیلگیری، زهکشی، کربن‌آلی و رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در مرحله بلوغ می‌باشد. در کلاس‌های نامناسب در این استان محدودکننده‌ترین مشخصه زهکشی و مشخصه‌های اقلیمی رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در مرحله بلوغ می‌باشد. سویا دارای ریشه‌ای عمیق و مستقیم که معمولاً تا ۱/۵ متر در خاک نفوذ می‌نماید بنابراین خاک‌های با سطح ایستابی بالا (زهکشی ضعیف) برای رشد این گیاه محدودیت ایجاد کرده و کاهش عملکرد را به دنبال خواهند داشت (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

بیشترین وسعت اراضی تحت کشت کلزا در کشور در خوزستان با ۵۹ هزار هکتار و تولید ۱۲۰ هزار تن می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱). محدودیت‌های خاک در این استان برای کشت کلزا بیشتر آهک، pH، بافت و در مواردی سیلگیری در کلاس‌های S2 و S3 بوده و در کلاس‌های نامناسب غالباً شوری و قلیائیت، بافت و آهک خاک می‌باشد. اسیدیته نامناسب برای رشد کلزا در کلاس‌های S2 و S3 خاک‌های فارس بیشتر ناشی از آهکی بودن خاک‌ها است. آبکافت یون‌های کلسیم سبب افزایش مقدار OH^- و در نهایت افزایش مقدار pH خاک می‌شود (اسپوزیتو، ۲۰۱۶). تنش

شوری در کلزا باعث کاهش پایداری غشای سلولی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، کاهش فتوسنتز، کاهش تورژسانس سلول‌ها و متعاقباً کاهش توسعه برگ‌ها، ریزش گل و دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. همچنین شوری در کلزا، موجب کاهش رشد ریشه، تأخیر در ظهور برگ‌ها و تشکیل اولین میانگره‌ها می‌شود. در صورت تداوم روند شوری در مراحل بعدی رشد، موجب کاهش ارتفاع گیاه، کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف شده و نهایتاً عملکرد کاهش می‌یابد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۶). استان گلستان با ۲۷ هزار هکتار سطح زیرکشت و ۵۱ هزار تن عملکرد، بیشترین تولید کلزا آبی را بعد از خوزستان دارد (بی نام، ۱۴۰۱). در این استان محدودیت اقلیمی برای کشت کلزا وجود نداشته و عمدتاً محدودیت‌ها شامل pH، بافت خاک و زهکشی در کلاس‌های S1 و S2 و شوری خاک در کلاس‌های نامناسب است. در خاک‌های تحت کشت کلزا گلستان غالباً محدودیت قلیائیت وجود ندارد. محدودیت pH در خاک‌های مورد بررسی گلستان برای کشت کلزا بیشتر به دلیل آهکی بودن خاک‌ها می‌باشد. استان ایلام با ۱۱/۸ هزار هکتار و ۲۰ هزار تن تولید بعد از گلستان قرار گرفته (بی نام، ۱۴۰۱) و غالب محدودیت‌ها شامل آهک، شیب و شوری و قلیائیت خاک می‌باشد. در مناطق دره‌شهر و ایلام محدودیت اقلیمی متوسط دما در دوره گلدهی نیز باعث کاهش تناسب اراضی برای کشت کلزا شده است. استان فارس با وسعت ۸ هزار هکتار و ۱۱/۳ هزار تن عملکرد کلزا در رتبه بعد از ایلام قرار گرفته و دارای محدودیت متوسط دما در دوره گلدهی در سپیدان و متوسط دما در سیکل رشد در زرقان می‌باشد. اراضی تحت کشت خوزستان در مقایسه با اراضی تحت کشت فارس دارای مقدار تولید بیشتر است به‌طوری که متوسط عملکرد خوزستان ۲/۰۳ تن در هکتار بوده و نسبت به فارس (۱/۴ تن در هکتار) بیشتر است این نشان‌دهنده کیفیت خاک‌های تحت کشت کلزای خوزستان به ویژه در اراضی کلاس‌های مناسب می‌باشد چون دقت در نقشه تناسب کلزا (شکل ۷) مشخص می‌نماید که وسعت اراضی مناسب خوزستان کمتر است پس کیفیت زیاد خاک‌های تحت کشت کلزا در خوزستان و مدیریت مناسب زارعین کلزاکار باعث افزایش متوسط عملکرد شده است. یکی از مهمترین محدودیت‌ها در کلاس‌های نامناسب خوزستان شوری و قلیائیت خاک‌ها بوده که عامل افزایش pH در خاک این کلاس‌ها، به دلیل آبکافت توسط یون‌های سدیم می‌باشد (اسپارکس، ۲۰۰۳؛ اسپوزیتو، ۲۰۱۶). در مناطق مورد مطالعه خوزستان فقط اراضی واقع شده در ایذه دارای محدودیت اقلیمی متوسط دما در مرحله گلدهی برای کشت کلزا هستند. مازندران با وسعت ۶ هزار هکتار و ۱۱ هزار تن در رتبه بعدی (بعد از فارس) واقع شده (بی نام، ۱۴۰۱) و محدودیت اقلیمی ندارد. در خاک‌های این استان محدودیت‌ها در کلاس‌های مناسب S2 و S3 شامل بافت، pH، زهکشی و سیلگیری بوده و در کلاس‌های N1 و N2 عمدتاً زهکشی و بافت می‌باشد. متوسط عملکرد کلزا در خاک‌های مازندران ۱/۷۸ تن در هکتار بوده در حالیکه مقدار آن در خاک‌های فارس ۱/۴ تن در هکتار می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱)، این به دلیل کیفیت مناسب و محدودیت کم خاک‌های تحت کشت کلزا مازندران نسبت به خاک‌های فارس می‌باشد که مقایسه اراضی دو استان در نقشه تناسب (شکل ۷) مشخص می‌نماید که وسعت کلاس‌های مناسب در مازندران بیشتر است، بنابراین متوسط عملکرد واقعی نیز این موضوع را تایید می‌کند.

مقایسه مقدار متوسط عملکرد کلزا در دشت‌های آبی کشور (بی نام، ۱۴۰۱) نشان داد که بیشترین عملکرد در استان آذربایجان غربی ۲/۶۳ تن در هکتار و کمترین آن در سمنان ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بررسی مقادیر مشخصه‌های واحدهای خاک تحت کشت آبی دو استان نشان داد که محدودیت‌ها شامل pH، بافت خاک و زهکشی در کلاس‌های S1 و S2 و شوری و قلیائیت خاک در کلاس‌های نامناسب به ویژه سمنان است. در خاک‌های تحت کشت کلزا آذربایجان غربی غالباً محدودیت قلیائیت وجود نداشته یا خیلی کم است. در صورتیکه در سمنان محدودیت‌ها غالباً مربوط به شوری، pH و بافت خاک

است، به دلیل محدودیت شدید پارامترهای خاک، اراضی با کلاس مناسب S1 در خاک‌های مورد بررسی سمنان برای کشت کلزا وجود ندارد، در مجموع با توجه به شدت محدودیت‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که وسعت کلاس‌های مناسب در سمنان کمتر از آذربایجان غربی باشد که نقشه تناسب اراضی (شکل ۷) این واقعیت را نشان می‌دهد.

خوزستان با وسعت ۱۶/۳ هزار هکتار و ۱۵/۷ هزار تن در رتبه اول تولید کنجد قرار گرفته (بی نام، ۱۴۰۱) که وسعت اراضی مناسب این استان در مقایسه با کرمان کمتر بوده (شکل ۱۰) و غالب اراضی در کلاس‌های نامناسب قرار گرفته‌اند. کنجد در خوزستان در مناطق آبادان و اهواز دارای محدودیت متوسط حداکثر دما در سیکل رشد می‌باشد. در کلاس‌های مناسب دارای محدودیت‌های کربن‌آلی و pH خاک بوده و در کلاس‌های نامناسب عمدتاً شوری و قلیائیت، آهک و گچ، کربن‌آلی و بافت خاک می‌باشد. مناطق جنوب استان کرمان با وسعت ۷ هزار هکتار و تولید ۹ هزار تن بیشترین تولید را بعد از خوستان دارا هستند (بی نام، ۱۴۰۱). در کلاس‌های S2 و S3 این مناطق عمدتاً محدودیت‌های کربن‌آلی و pH که غالباً ناشی از آهکی بودن خاک‌ها هست، می‌باشد. در کلاس‌های نامناسب هم عمدتاً شوری و pH برای رشد و توسعه کنجد محدودیت ایجاد کرده‌اند. به دلیل آهکی بودن و مقدار قابل ملاحظه pH این خاک‌ها، جذب عناصر کم مصرف توسط گیاه کنجد با مشکل مواجه شده و باعث کاهش عملکرد این گیاه در اراضی این کلاس‌ها می‌شود. شوری خاک سبب کاهش جذب آب ناشی از افزایش غلظت نمک‌های محلول در خاک و همچنین جذب یون ها در غلظت های زیاد باعث ایجاد سمیت بر روی رشد کنجد می‌شود. همچنین غلظت بالای یون‌های Na^+ و Cl^- باعث اختلال در فرایندهای تقسیم و تمایز سلولی در گیاه کنجد از طریق بهم ریختن فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (واکال و همکاران، ۲۰۱۹). متوسط عملکرد در جنوب کرمان ۱/۳۷ تن در هکتار بوده در حالیکه متوسط تولید خوزستان ۰/۹۳ تن در هکتار می‌باشد. همانطور که در نقشه تناسب (شکل ۱۰) ملاحظه می‌گردد بیشتر اراضی مورد بررسی خوزستان برای کشت کنجد نامناسب بوده که متوسط عملکرد این استان نیز این موضوع را تایید می‌کند، همچنین مقایسه محدودیت‌های دو استان نشان می‌دهد که شدت محدودیت‌ها در خاک‌های خوزستان برای کشت آبی کنجد بیشتر بوده و این خاک‌ها دارای کیفیت کمتری هستند.

با توجه به اینکه نقشه تناسب، اراضی مستعد و غیرمستعد را برای کشت محصول تفکیک کرده، برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای برای برنامه‌ریزان و کاربران تسهیل می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت که رعایت درجه مناسب بودن اراضی با توجه به نقشه تناسب، برای استفاده اصولی از اراضی جهت کشت محصولات یک گام مهم و اساسی در استفاده پایدار از اراضی با حفظ منابع خاک و افزایش پتانسیل اراضی می‌باشد. جهت ارائه راهکارهای مناسب، برنامه پایش و مدیریت کاربردی و اصولی اراضی، یک برآورد صحیح و درست از پتانسیل قابلیت واحدهای خاک در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی ضروری می‌باشد، تا نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تناسب اراضی در واحدهای مختلف با اطمینان خاطر مورد استفاده قرار گیرد و ضمن ایجاد تفاهم و کاهش تعارضات در تصمیم‌گیری‌ها، آسیب‌ها و مخاطرات منابع اراضی را در زمان بهره‌برداری تا حد قابل ملاحظه‌ای به حداقل برساند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فرایند ارزیابی اراضی با توجه به قابلیت یا مناسب بودن آن‌ها برای استفاده خاص، اراضی را طبقه‌بندی و گروه‌بندی می‌کند. از این رو تمام برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین باید بر اساس یافته‌های ارزیابی اراضی باشد. با این کار از استفاده نادرست از اراضی و تخریب اراضی مرتبط جلوگیری می‌شود. علاوه بر این، با پیشنهاد اقدامات اصلاحی مناسب، به بهبود اراضی برای استفاده بهتر از اراضی کمک می‌کند. برای این منظور تناسب اراضی

دشت‌های آبی کشور برای کشت آبی گیاهان دانه روغنی شامل آفتابگردان، سویا، کلزا و کنجد با روش پارامتریک ریشه‌دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی از تجزیه واریانس چندمتغیره استفاده شد. مقدار P-value و آماره آزمون لامبدای ویلکس نشان داد که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی دارای دقت بالایی است. همچنین آزمون لِوِن و مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های خاک و اراضی در کلاس‌های تناسب تفکیک شده با آزمون LSD مشخص کرد که اختلاف معنی‌دار وجود داشته و نشان‌دهنده دقت زیاد کلاس‌های تفکیک شده می‌باشد. مهمترین مشخصه‌های محدودکننده در اراضی تحت کشت آبی کشور برای کشت آفتابگردان؛ pH، بافت و به‌ویژه در کلاس‌های نامناسب شوری و قلیائیت، آهک و شیب، برای سویا؛ کربن‌آلی، اقلیم، شیب، شوری و قلیائیت، برای کلزا؛ pH، بافت، شوری و قلیائیت و برای کنجد؛ کربن‌آلی، pH، شوری و قلیائیت می‌باشد.

جهت شناسایی قابلیت‌ها و محدودیت‌های اراضی برای محصولات مورد بررسی، نتایج به‌دست آمده از مطالعات ارزیابی تناسب اراضی کاربرد داشته و ضمن کمک به استفاده بهینه و پایدار از منابع اراضی، می‌تواند برای برنامه‌ریزان و کشاورزان به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری باشد. بنابراین به منظور تولید بهینه، بهتر است:

- کشت در واحدهای خاک با کلاس‌های رده مناسب برنامه‌ریزی شود.
- در اراضی که شدت محدودیت پارامترهای محدودکننده نظیر اقلیم، خصوصیات فیزیکی خاک از جمله بافت خاک و سیلگیری زیاد باشند کشت محصول توصیه نمی‌شود.
- با انجام عملیات اصلاحی در مورد عوامل محدودکننده‌ای همانند شوری و قلیائیت، طبق بررسی‌های اقتصادی در صورت وجود منابع آب با کیفیت مناسب، کلاس تناسب واحد مورد نظر ترقی یافته و بهبود عملکرد را بدنبال خواهد داشت.
- در جهت بهبود کیفیت اراضی و افزایش عملکرد، انجام عملیات زهکشی و اصلاح اراضی با محدودیت‌های سیل‌گیری و توپوگرافی در اراضی که از نظر اقتصادی توجیه داشته باشد، توصیه می‌شود.
- در راستای حفاظت از منابع خاک و سرمایه، بهتر است در اراضی نامناسب با محدودیت شدید، کشت انجام نگیرد.
- به دلیل اهمیت خصوصیات حاصلخیزی خاک از نظر محدودکنندگی، ضروری است که حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه به درستی مدیریت شود.
- در صورت به کارگیری نتایج به دست آمده به ویژه نقشه تناسب اراضی برای کاشت، امکان بهره‌برداری درست از اراضی تحت کشت میسر شده و با توجه به متمایز شدن اراضی مناسب از نامناسب، با مدیریت درست، هزینه‌ها کاهش یافته و درآمد زارعین افزایش خواهد یافت.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر از طرح تحقیقاتی ملی به شماره مصوب ۹۴۵۲-۱۰-۱۰-۰۱۴ که با حمایت مالی معاونت امور زراعت وزارت جهادکشاورزی در موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده، استخراج گردیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. بی‌نام. ۱۴۰۱. آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت آمار مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۰۰ صفحه.

۲. گیوی، ج. و حقیقی، ا. ۱۳۹۴. برآورد پتانسیل تولید و ارزیابی کمی تناسب اراضی شمال شهرکرد برای کشت آبی کلزا. آب و خاک، ۲۹(۶):۱۶۵۱-۱۶۶۱.

۳. حسین پور، ف.، نوری امامزاده ای، م.، خدامباشی امامی، م.، زمانیان، م.و. ۱۳۹۱. تاثیر زهکشی کنترل شده بر عملکرد سویا و ارتقاء کارایی مصرف آب. آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۱): ۱۱-۲۰.

۴. سیدجلالی، س.ع.، نویدی، م.ن.، زین الدینی میمند، ع.، محمداسماعیل، ز. ۱۳۹۸. نیازهای رویشی گیاهان زراعی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۵۰ صفحه.

۵. یزدانی، ف.، اکبری، غ.، مین باشی مبینی، م.، و اله دادی، ا. ۱۳۹۲. استعدادیابی اراضی زراعی استان های تهران و البرز برای کشت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). کشاورزی بوم شناختی، ۱(۳):۲۷-۴۱.

۶. نویدی، م.ن.، سیدمحمدی، ج.، سیدجلالی، س.ع.، زین الدینی، ع.، فرج نیا، ا. و زارعیان، غ. ۱۴۰۱. ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی کشور. پژوهش‌های خاک، ۳۶(۲):۱۰۹-۲۲۴.

۷. سیدمحمدی، ج.، نویدی، م.ن.، سیدجلالی، س.ع.، فرج نیا، ا. و فاتحی، ش. ۱۴۰۱. تحلیل محدودیت‌های اراضی و تعیین درجه تناسب آنها برای کشت غلات در اراضی تحت کشت آبی کشور. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۹):۱۹۵۷-۱۹۷۸.

۸. نویدی، م.ن. و سیدمحمدی، ج. ۱۴۰۲. ارزیابی تناسب اراضی و بررسی محدودیت‌ها برای کشت گیاهان صنعتی در مناطق تحت کشت آبی کشور. پژوهش‌های خاک، ۳۷(۴):۱۰۹-۲۲۴.

9. Akpoti, K., Kabo-bah, A.T., Dossou-Yovo, E.R., Groen, T.A., Zwart, S.J. 2020. Mapping suitability for rice production in inland valley landscapes in Benin and Togo using environmental niche modeling. Science of the Total Environment, 709, 136165, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136165.
10. AL-Taani, A., Al-husban, Y., Farhan I., 2020. Land suitability evaluation for agricultural use using GIS and remote sensing techniques: The case study of Ma'an Governorate, Jordan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, In Press.
11. Behera, S.K., Mathur, R.K., Shukla, A.K., Suresh, K., Prakash, C., 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. Catena 165, 251-259.
12. Bleam, W.F. 2017. Soil and Environmental Chemistry. 2nd edition, Academic Press, 586p.
13. Boyer, J.S., James, R.A., Munns, R., Condon, T.A.G., Passioura, J.B., 2008. Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat and barley. Functional Plant Biology, 35(11), 1172-1182.
14. Cicek, N. and Cakirlar, H. 2008. Effect of salt stress on some physiological and photosynthetic parameters at three different temperatures in six soyabean (GlycinemaxL.Merr.) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science, 194, 34-46.

15. Dadgar, M., Mahmoodi, Sh., Masihabadi, M.H. 2007. Qualitative assessment of land suitability for soybean and sunflower cultivation in Damavand region by Faryab cultivation method. Plant and Ecosystem, 3(10), 102-110. (In Persian)
16. Davatgar, N., Neishabouri, M.R, Sepaskhah, A.R. 2012. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. Geoderma 173-174:111-118.
17. Dedeoglu, M. and Dengiz, O. 2019. Generating of land suitability index for wheat with hybrid system approach using AHP and GIS. Computers and Electronics in Agriculture, 167, 105062.
18. Dharumarajan, S., and Singh, S.K. 2014. GIS based soil site suitability analysis for potato: a case study in lower Indogangetic alluvial plain. Potato Journal, 41(2), 113–121.
19. Fan, J., Sun, W., Zhou, K., Chen, D. 2012. Major function oriented zone: New method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China. Chinese Geographically Science, 22 (2), 196-209.
20. FAO. 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin, No. 32. Rome: Land and Water Development Division, FAO, UN.
21. FAO. 1985. Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture. FAO Soils Bulletin, No. 55, Rome.
22. Gandhi, G., and Savalia, S.G. 2014. Soil-site suitability evaluation for mustard in calcareous soils of Girnar toposequence in Southern Saurashtra region of Gujarat. Journal of Oilseed Brassica, 5(2), 128-133.
23. Hazir, M.H.M., Abdul Kadir, R., Gloor, E., Galbraith, D. 2020. Effect of agroclimatic variability on land suitability for cultivating rubber (Hevea brasiliensis) and growth performance assessment in the tropical rainforest climate of Peninsular Malaysia. Climate Risk Management, 27, 100203
24. Kamkar, B., Dorri, M.A., Teixeira da Silva, J.A. 2014. Assessment of land suitability and the possibility and performance of a canola (Brassica napus L.) - soybean (Glycine max L.) rotation in four basins of Golestan province, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 17, 95-104.
25. Kamrava, S., Babaeian Jelodar, N. and Bagheri, N. 2016. Evaluation of some soybean genotypes (Glycine max) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 8(18), 57-63.
26. Kundu, M., Krishnan, P., Kotnala, R.K., Sumana, G., 2019. Recent developments in biosensors to combat agricultural challenges and their future prospects. Trends in Food Science & Technology, 88, 157-178.
27. Malmir, M., Kheirkhah Zarkesh, M.M., Monavari, S.M., Jozi, S.A., Sharifi, E., 2016. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP). Environmental Monitoring and Assessment, 188, 447.
28. Mandal, S., Choudhury, B.U. and Satpati, L. 2020. Soil site suitability analysis using geo-statistical and visualization techniques for selected winter crops in Sagar Island, India. Applied Geography, 122, 102249.
29. Mazahreh, S., Bsoul, M., and Hamoor, D.A. 2019. GIS approach for assessment of land suitability for different land use alternatives in semi arid environment in Jordan: Case study (Al Gadeer Alabyad-Mafraq). Information Processing In Agriculture, 6, 91-108.
30. McClave, J.T. and Sincich, T. (2012). Statistics. 12th edition, Pearson Press, 840p.
31. Moradi, M., Ebrahimi, A., Ghodrati, Gh. 2016. Evaluation effect of salt stress, growth, physiological characteristic and seed yield of spring canola cultivars (Brassica napus L). Quarterly Journal of Plant Production Science, 6(2), 1-12.

32. Munns, R., and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Biology, 59, 651-681.
33. Navidi, M.N., Chatrenour, M., Seyedmohammadi, J., Delsous Khaki, B., Moradi-Majd, N., & Mirzaei, S. 2023. Ecological potential assessment and land use area estimation of agricultural lands based on multi-time images of Sentinel-2 using ANP-WLC and GIS in Bastam, Iran. Environmental, Monitoring and Assessment, 195, 36.
34. Navidi, M.N., Seyedmohammadi, J. & McDowell, R.W. 2022. A Proposed New Approach to Identify Limiting Factors in Assessing Land Suitability for Sustainable Land Management. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 53(19):2558-2573. doi:10.1080/00103624.2022.2072511.
35. Nguyen, H., Nguyen, T., Hoang, N., Bui, D., Vu, H., and Van, T. 2020. The application of LSE software: A new approach for land suitability evaluation in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 173, 105440.
36. Ostovari, Y., Honarbakhsh, A., Sangoony, H., Zolfaghari, F., Maleki, K., Ingram, B., 2019. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions. Ecological Indicators, 103, 479-487
37. Pakpour Rabati, A., Jafarzadeh, A.A., Shahbazi, F., Rezapour, S. and Momtaz, H.R. 2012. Qualitative and quantitative land-suitability evaluation for sunflower and maize in the north-west of Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, 58(11), 1229-1242.
38. Purnamasari, R.A., Noguchi, R., and Ahamed, T. 2019. Land suitability assessments for yield prediction of cassava using geospatial fuzzy expert systems and remote sensing. Computers and Electronics in Agriculture, 166, 105018.
39. Sadak, M.S., Abd El-Hameid, A.R., Zaki, F.S.A., Dawood, M.G. and El-Awadi, M.E. 2020. Physiological and biochemical responses of soybean (Glycine max L.) to cysteine application under sea salt stress. Bulletin of the National Research Centre, 44, 1, doi: 10.1186/s42269-019-0259-7.
40. Safwan, M., Alsafadi, K., Ali, H., Mousavi, S.M.N., Kiwan, S., Hennawi, S., Harsanyie, E., Pham, Q.B., Thi Thuy Linh, N., Ali, R., Anh, D.T., and Thai, V.N. 2020. Assessment of land suitability potentials for winter wheat cultivation by using a multi criteria decision Support- Geographic information system (MCDS-GIS) approach in Al-Yarmouk Basin (Syria). Geocarto International, doi:10.1080/10106049.2020.1790674
41. Seyedmohammadi, J. & Navidi, M.N. 2022. Applying fuzzy inference system and analytic network process based on GIS to determine land suitability potential for agricultural. Environ. Monit. Assess. 194, 712.
42. Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A. Ghorbani, M.A., Shahbazi, F. 2018. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. Geoderma, 310, 178-190.
43. Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A., McDowel, R.W., 2019. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. Geoderma 352, 80-95.
44. Shu, K., Qi, Y., Chen, F., Meng, Y., Luo, X., Shuai, H., Zhou, W., Ding, J., Du, J., Liu, J., Yang, F., Wang, Q., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Feng, Y. and Yang, W. 2017. Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. Frontiers in Plant Science, 8, 1372. doi: 10.3389/fpls.2017.01372
45. Singha, C., Swain, K.C., 2016. Land suitability evaluation criteria for agricultural crop selection: A review. Agricultural Reviews, 37 (2), 125-132.
46. Sparks, D.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. 2nd edition, Academic Press, 352p.

47. Sposito, C. 2016. The Chemistry of Soils. 3rd edition, Oxford University Press, 272p.
48. Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M., Eftekhari, M. 2020. Land suitability assessment for maize farming using a GIS-AHP method for a semi arid region, Iran. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19, 332-338
49. Tercan, E., and Dereli M.A. 2020. Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey. Ecological Indicators, 117, 106549
50. Tripathi, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Lal, B., Gautam, P., Raja, R., Mohanty, S., Kumar, A., Panda, B.B., and Sahoo, R.N., 2015. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. Catena 133, 128-136.
51. Ustaoglu, E. and Aydınoglu, A.C. 2020. Suitability evaluation of urban construction land in Pendik district of Istanbul, Turkey. Land Use Policy, 99, 104783.
52. Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Handa, T., Sasagawa, D., Acidri, R., Ishigaki, T., Kato, M., Masunaga, T., Yamamoto, S. and Nishihara, E. 2019. Growth, Seed Yield, Mineral Nutrients and Soil Properties of Sesame (Sesamum indicum L.) as Influenced by Biochar Addition on Upland Field Converted from Paddy. Agronomy, 9(2), 55; doi:10.3390/agronomy9020055
53. Wanyama, D., Mighty, M., Sim, S., and Koti, F. 2019. A spatial assessment of land suitability for maize farming in Kenya. Geocarto International, doi:10.1080/10106049.2019.1648564
54. Weil, R.R., and Brady, N.C., 2016. The nature and properties of soils. 15th edition, Pearson Education Limited, 1104p.