Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Analyzing Land Limitations and Determining Their Degree of Suitability for Cereals Cultivation in the Irrigated Plains of Iran

Javad Seyedmohammadi[1]✉, Mir Naser Navidi[2], Seyed Alireza Seyedjalali[3], Asghar Farajnia[4], Shahrokh Fatehi[5]

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: j.mohammadi@areeo.ac.ir
2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: n.navidi@areeo.ac.ir
3. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: ajalali@areeo.ac.ir
4. Soil and Water Research Department, East Azarbyjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran, Email: a.farajnia@areeo.ac.ir
5. Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran, Email: sh.fatehi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 11, 2022

Revised: Sep. 3, 2022

Accepted: Sep. 19, 2022

Published online: Nov. 22, 2022

Keywords:
Cereals,
Land limitations,
Land potential,
Land suitability,
Sustainable agricultural.

ABSTRACT

Land suitability classification is a useful management method to ensure using the planned and sustainable agricultural land according to their potential. Therefore, the suitability of irrigated plains in Iran was evaluated for wheat, barley, grain maize, rice and triticale in the years 2017 to 2022. The results showed that 1.4 million ha of the studied lands for wheat are in highly suitable class (S1), 2.8 million ha in moderately suitable class (S2), 1.39 million ha in marginally suitable class (S3), lands with an area of 524,531 ha in currently unsuitable class (N1) and 199,503 ha in permanently unsuitable class (N2). For barley, about 1.3 million ha are in S1 class, 2.2 million ha in S2 class, S3 class lands with an area of 1.3 million ha, about 501 thousand ha in N1 class and 489 thousand ha in N2 class. About 39 thousand ha for grain maize are in S1 class, 1.1 million ha in S2 class, S3 class lands with an area of 1.6 million ha, 853 thousand ha in N1 class and 999 thousand ha in N2 class. For rice cultivation, there are 310 thousand ha of land in S2 class, S3 class lands with 1.5 million ha, 877 thousand ha in N1 class and 949 thousand ha in unsuitable N2 class. There are 127,000 ha of land for Triticale in S1 class, about 549,000 ha in S2 class, 323,000 ha of land in S3 class, about 97,000 ha in N1 class and 83,000 ha in N2 class. Statistical analysis of the data showed that the separation of land suitability classes for all crops has acceptable accuracy. The main limiting characteristics were; texture, salinity/alkalinity, slope, drainage and in some areas climatic characteristics. With regard to the distinction of suitable and unsuitable lands, the application of the obtained results can be effective into correct programming for sustainable exploitation, production and cultivation pattern development.

Cite this article: Seyedmohammadi, j., Navidi, M.N., Seyedjalali, S. A., Farajnia, A., Fatehi, Sh. (2022) Analyzing Land Limitations and Determining Their Degree of Suitability for Cereals Cultivation in the Irrigated Plains of Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342737.669266,53 (9), 1957-1978.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

DOI :https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342737.669266

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تحلیل محدودیت‌های اراضی و تعیین درجه تناسب آن‌ها برای کشت غلات در اراضی تحت کشت آبی ایران

جواد سیدمحمدی[1]✉، میرناصر نویدی[2]، سیدعلیرضا سیدجلالی[3]، اصغر فرجنیا[4]، شاهرخ فاتحی[5]

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ایمیل: j.mohammadi@areeo.ac.ir

۲. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ایمیل: n.navidi@areeo.ac.ir

۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ایمیل: ajalali@areeo.ac.ir

۴. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران، ایمیل: a.farajnia@areeo.ac.ir

۵. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، ایمیل: sh.fatehi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۹/۱

واژه‌های کلیدی:
پتانسیل اراضی،
تناسب اراضی،
کشاورزی پایدار،
غلات،
محدودیت‌های اراضی.

چکیده

طبقه‌بندی تناسب اراضی یک روش مدیریتی مفید برای اطمینان از استفاده برنامه‌ریزی شده و پایدار اراضی کشاورزی با توجه به پتانسیل‌هایشان است. بنابراین اراضی دشت‌های آبی کشور طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ برای گندم، جو، ذرت‌دانه‌ای، برنج و تریتیکاله مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت. نتایج مشخص کرد که برای کشت گندم، ۱/۴ میلیون هکتار از اراضی در کلاس بسیار مناسب (S1)، ۲/۰۸ میلیون هکتار در کلاس نسبتاً مناسب (S2)، ۱/۴ میلیون هکتار در کلاس تناسب بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۵۲۴ هزار هکتار در کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۵۰۳ هزار هکتار در کلاس نامناسب دائمی (N2) می‌باشند. در مورد جو، حدود ۱/۳ میلیون هکتار در کلاس S1، ۲/۲ میلیون هکتار در کلاس S2 و اراضی کلاس S3 به مساحت ۱/۳ میلیون هکتار، حدود ۵۰۱ هزار هکتار در کلاس N1 و ۴۸۹ هزار هکتار در کلاس N2، قرار گرفته است. حدود ۳۹ هزار هکتار برای ذرت دانه‌ای در کلاس S1، ۱/۱ میلیون هکتار در کلاس S2، اراضی کلاس S3 به مساحت ۱/۶ میلیون هکتار، ۸۵۳ هزار هکتار در کلاس N1 و ۹۹۹ هزار هکتار در کلاس N2 قرار گرفته‌اند. برای کشت برنج، ۳۱۰ هزار هکتار در کلاس S2، اراضی کلاس S3 به مساحت ۱/۵ میلیون هکتار، ۸۷۷ هزار هکتار در کلاس N1 و ۹۴۹ هزار هکتار در کلاس نامناسب N2 قرار دارند. اراضی به وسعت ۱۲۷ هزار هکتار برای تریتیکاله در کلاس S1، حدود ۵۴۹ هزار هکتار در کلاس S2، اراضی کلاس S3 به مساحت ۳۲۵ هزار هکتار، حدود ۹۷ هزار هکتار در کلاس N1 و ۸۳ هزار هکتار در کلاس N2 قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی برای همه محصولات دارای دقت قابل قبول می‌باشد. عمده‌ترین مشخصه‌های محدودکننده؛ بافت، شوری/قلیائیت، شیب، زهکشی، pH و در برخی مناطق مشخصه‌های اقلیمی می‌باشد. با توجه به متمایز شدن اراضی مناسب از نامناسب، به کارگیری نتایج می‌تواند در جهت برنامه‌ریزی درست برای بهره‌برداری، تولید پایدار و تدوین الگوی کشت موثر باشد.

استناد: سیدمحمدی؛ جواد، نویدی؛ میرناصر، سیدجلالی؛ علیرضا، فرجنیا؛ اصغر، فاتحی؛ شاهرخ، (۱۴۰۱). تحلیل محدودیت‌های اراضی و تعیین درجه تناسب آن‌ها برای کشت غلات در اراضی تحت کشت آبی ایران، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.342737.669266
۵۳ (۹)، ۱۹۷۸- ۱۹۵۷.
DOI :https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342737.669266
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده جمعیت جهان به مواد غذایی که به سرعت در حال افزایش است، نیاز به منابع طبیعی پایدار در قرن بیست و یکم افزایش یافته است. تغییرات آب و هوایی جهانی، کاربری‌های نامناسب اراضی و فشار برای برآوردن نیازهای روزافزون غذا، به طور قابل توجهی تولید جهانی کشاورزی، امنیت غذایی و منابع طبیعی به ویژه خاک را تهدید می‌کنند (Ozkan et al., 2020; Kilic & Gunal, 2021). یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی مورد استفاده بشر خاک است چرا که خاک زیربنای کلیه فعالیت‌های کشاورزی و منابع طبیعی است و حیات موجودات زنده به ویژه انسان بستگی به نحوه بهره‌برداری از خاک دارد و هرگونه اشتباه در بهره‌برداری از آن موجب از بین رفتن این منبع با ارزش می‌گردد (Seyedmohammadi et al., 2019b; Sengupta et al., 2022). در نتیجه بهره‌برداری از خاک باید به گونه‌ای باشد که ضمن رسیدن به حداکثر تولید، این منبع با ارزش برای استفاده آیندگان آسیب نبیند. بنابراین، بشر همواره بایستی در اندیشه استفاده بهینه از منابع حیاتی باشد و برای دست‌یابی به این هدف ضروری است اقداماتی موثر و کاربردی انجام شود (Saha et al., 2021; Sarkar et al., 2021).

اراضی عنصری منحصر به فرد بوده و استفاده کنندگان از آن به‌طور مثبت یا منفی بر منحصر به فرد بودن آن تأثیر می‌گذارند. استفاده مطلوب‌تر از اراضی کشاورزی و افزایش تولید محصولات زراعی و باغی از جمله راه‌کارهای استفاده بهینه است (Akbari et al., 2022; Kilic et al., 2022). بایستی به این موضوع مهم توجه داشت که دیگر، اراضی مناسب چندانی برای افزایش سطح زیر کشت باقی نمانده، ضروری است میزان عملکرد در واحد سطح اراضی موجود با لحاظ حفاظت از منابع موجود، افزایش یابد. تحلیل «تناسب اراضی کشاورزی» یک رویکرد ایده‌آل برای تعیین شکل مناسب کاربری بهینه اراضی کشاورزی است در صورتی‌که الگوهای کاربری بی‌برنامه اجرا شود به‌طور مسلم می‌تواند مشکلات زیست محیطی، انحطاط و تخریب را به دنبال داشته باشد (Saha et al., 2021). برای نیل بدین مقصود، ارزیابی و مدیریت خاک و اراضی از اهمیت روز افزونی برخوردار بوده و دارا بودن اطلاعات دقیق از وضعیت خاک و اراضی پیش نیاز تصمیم‌گیری‌های آگاهانه و آمایش سرزمین است. ارزیابی اراضی حلقه‌ای بسیار مهم در زنجیره‌ای است که منجر به مدیریت پایدار منابع اراضی از جمله مهم‌ترین آن‌ها خاک می‌گردد. بنابراین ارزیابی مناسب و به موقع اراضی بر اساس ویژگی‌های اراضی و نیازمندی‌های کاربری برای حل این مشکل ضرورتی انکارناپذیر است (Etedali & Givi, 2013; Seyedmohammadi et al., 2017; Rukhsana and Molla, 2022).

تناسب اراضی، با تجزیه و تحلیل سازگاری با محیط‌زیست برای مواجهه با قابلیت‌های ذاتی و بالقوه سرزمین هر منطقه، توانایی‌های خاک جهت حمایت از یک الگوی کاربری مشخص را احراز می‌کند. هدف اصلی آن پیش بینی قابلیت ذاتی یک واحد اراضی برای پشتیبانی از یک کاربری خاص و تعیین درجه سودمندی اراضی برای استفاده بالقوه یا آینده است (de la Rosa & Sobral, 2008; Saha et al., 2021). پژوهش‌های متعدد ارزیابی تناسب اراضی برای انواع غلات به صورت محلی، توسط محققین انجام شده است از جمله Seyedmohammadi (2018) حدود ۱۲۰۰۰ هکتار از اراضی دشت مغان را برای محصولات گندم، جو و ذرت‌دانه‌ای ارزیابی کرده که طبق نتایج اولویت کشت به‌ترتیب به محصولات جو، گندم و ذرت دانه‌ای اختصاص یافته و شیب، عمق مؤثر خاک، شوری و قلیائیت خاک‌ها ویژگی‌های محدودکننده بودند. Navidi et al. (2021) اراضی به وسعت حدود ۶۰ هزار هکتار در دشت قزوین را برای کشت آبی گندم ارزیابی کرده که خصوصیات شیب، pH، سدیم تبادلی، زهکشی و شوری خاک دارای محدودیت بودند. Safari et al. (2017) تغییرات مکانی تناسب اراضی بخشی از دشت زنجان برای کشت گندم آبی را مطالعه کرده و متوسط درجه حرارت دوره رشد و درصد سنگریزه را عوامل محدودیت گزارش نمودند. Kilic et al. (2022) اراضی منطقه توزانلی ترکیه را برای کشت گندم بر پایه ویژگی‌های توپوگرافی و خاک مورد ارزیابی تناسب قرار داده و عوامل شیب و ضخامت کم خاک را باعث قرار گرفتن وسعت زیادی از اراضی در کلاس‌های نامناسب گزارش کرده‌اند. Raza et al. (2018) اراضی منطقه پنجاب پاکستان را برای کشت برنج ارزیابی کرده و بافت خاک را عامل مهمی در رشد و توسعه این محصول بیان کردند. بررسی بخش‌هایی از اراضی منطقه مغان برای کشت آبی جو توسط Seyedmohammadi et al. (2019b) مشخص کرد که فاکتورهای شوری یا قلیائیت و شیب باعث نامناسب شدن قسمت قابل ملاحظه‌ای از اراضی شده‌اند. Moisa et al. (2022) به دلیل اهمیت محصول ذرت در اتیوپی، پتانسیل اراضی منطقه دیدسا را برای کشت این محصول، ارزیابی تناسب اراضی کردند تا ضمن تعیین درجه تناسب اراضی، اطلاعاتی در جهت افزایش عملکرد در اختیار زارعان و برنامه‌ریزان قرار دهند. Tashayo et al. (2020a) جهت بررسی محدودیت‌های اراضی آهکی و شور و سدیمی منطقه مرودشت، اراضی را برای کشت ذرت مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌های ایشان مشخص کرد که بافت خاک، شوری، pH و شیب عوامل اصلی نامناسب بودن اراضی می‌باشند. Pilevar et al. (2020) محدودیت‌های

اراضی واقع شده در جنوب غربی نیشابور را برای کشت ذرت و گندم بررسی کرده و ضمن تعیین درجه تناسب اراضی، محدوده‌های اراضی مستعد و غیرمستعد را برای کشت محصولات ذکر شده مشخص کردند. Mugiyo et al. (2021) اراضی به وسعت حدود ۱۲ میلیون هکتار در آفریقای جنوبی را با استفاده از داده‌های اقلیم، خاک و زمین‌نما، برای کشت دیم سورگوم و لوبیای چشم بلبلی ارزیابی تناسب اراضی قرار دادند. نتایج ایشان مشخص کرد که مهمترین عامل محدودیت برای کشت این محصولات بارندگی می‌باشد. از ایرادات اساسی این مطالعه این است که از خصوصیات خاک فقط عمق خاک در فرآیند ارزیابی به کار گرفته شده و سایر خصوصیات خاک اهمیت داده نشده است و این می‌تواند دقت نتایج را با ابهام روبرو کند. Tapia et al. (2021) پتانسیل اراضی مالزی و اندونزی را برای کشت نخل روغنی بر اساس خصوصیات زمین‌نما، خاک و اقلیم بررسی کردند. نتایج مشخص کرد که ۴/۵ میلیون هکتار اراضی جدید می‌تواند زیرکشت نخل روغنی قرار گیرد. زهکشی، شیب و کربن‌آلی محدودیت‌های غالب بوده‌اند. در این مطالعه از خصوصیات خاک فقط عمق، بافت و کربن‌آلی در تعیین پتانسیل اراضی استفاده شده، که به دلیل در نظر نگرفتن سایر خصوصیات خاک، دقت نتایج پایین خواهد بود.

امروزه یکی از مباحث مهم در کشورها، بحث امنیت غذایی بوده که ابعاد تازه‌ای به خود گرفته است. از آنجا که خودکفایی یکی از اصول امنیت غذایی می‌باشد، دستیابی به این مهم از طریق مدیریت درست اراضی و افزایش تولید مواد غذایی امکان‌پذیر می‌باشد. غلات محصولات محوری و کلیدی کشاورزی بوده که جایگاه ویژه‌ای در تولید و مصرف مواد غذایی و همچنین نقش مهمی در سلامت جسمی و ذهنی مردم جامعه دارند. بنابراین بررسی پتانسیل اراضی برای کشت غلات ضروری می‌نماید. بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات غلات در سطح کشور، در مقیاس کوچک بوده و هیچکدام از آن‌ها در مقیاس ملی نبوده و جامع نیستند. بنابراین برای استفاده بهینه و پایدار از اراضی کشاورزی، این پژوهش با هدف ارزیابی وضعیت موجود و شناسایی محدودیت‌های اراضی تحت کشت آبی دارای مطالعات خاکشناسی سطح کشور برای کشت غلات شامل گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای و تریتیکاله انجام شد تا ضمن مشخص شدن درجه تناسب اراضی برای کشت این محصولات، محدودیت‌های اراضی نیز شناسایی شده و در جهت مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه اراضی، مورد استفاده زارعان و برنامه‌ریزان به ویژه در تدوین الگوی کشت، قرار گیرد.

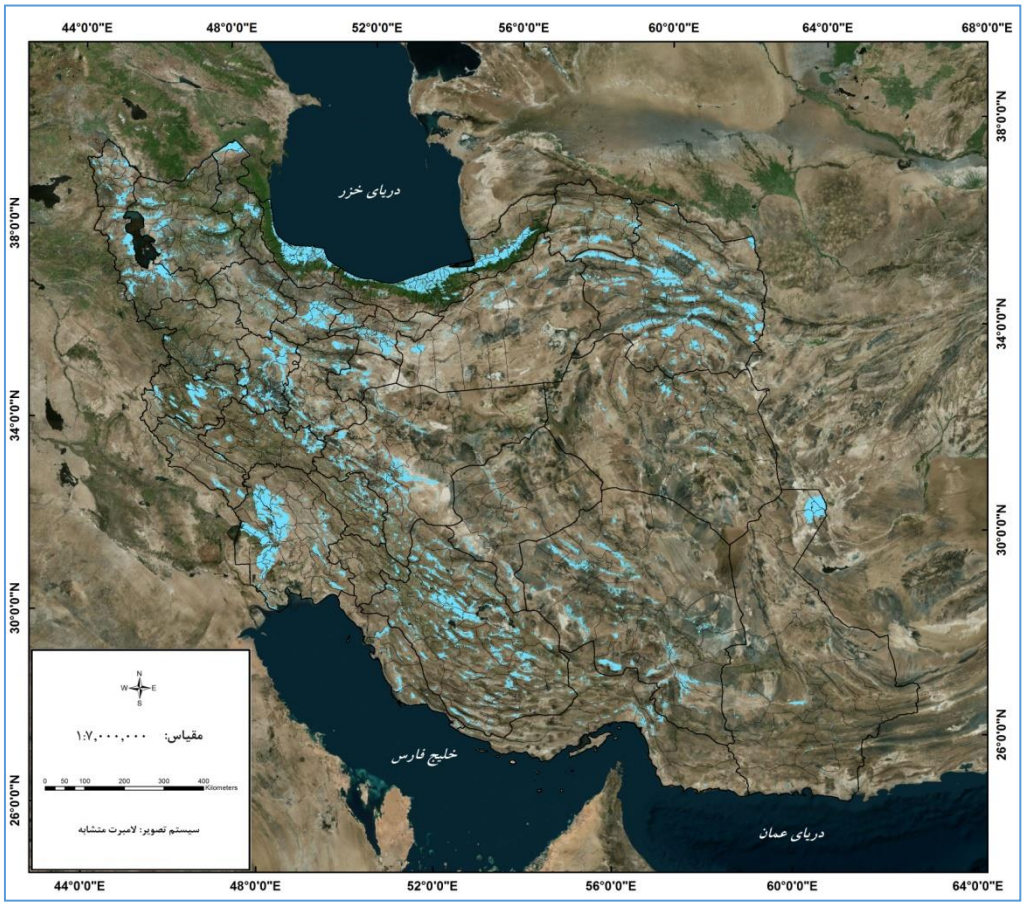
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل اراضی دارای مطالعات خاکشناسی واقع شده در اراضی تحت کشت آبی سطح کشور به وسعت حدود ۶ میلیون هکتار می‌باشد (شکل ۱). اراضی تحت کشت آبی کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده و از اراضی دیم تفکیک گردید سپس اراضی آبی که دارای مطالعات خاکشناسی بود در پژوهش مورد استفاده قرار گرفت که در قسمت مراحل پژوهش به تفصیل توضیح داده شده است. از نظر توپوگرافیکی اراضی مورد مطالعه در دشت واقع شده و بیشتر اراضی دارای شیب کمتر از ۳ درصد هستند البته در برخی نواحی به صورت موضعی دارای شیب تا حدود ۱۰ درصد نیز می‌باشند. در اراضی دشت‌های تحت کشت آبی مورد مطالعه، سازندهای زمین شناسی در شمال غرب کشور عمدتاً مربوط به رسوبات و توف‌های آهکی، تراورتن، شیست، کلریت، آبرفتی رسی بوده که به طور غالب مربوط به دوره کواترنر می‌باشد. در مناطق غرب بیشتر رسوبات آبرفتی کربناته بوده و در آن مارن، ماسه سنگ و شیل نیز کم و بیش دیده می‌شوند. دشت‌های ساحلی خزر را می‌توان متشکل از قشر نازکی از رسوبات آبرفتی جوان در نظر گرفت که برروی رسوبات دریایی میوپلیوسن و کواترنر به ضخامت چند هزار متر قرار گرفته‌اند و از ناحیه جنوب در تماس کلی با کوهستان قرار دارند. در اکثر نواحی ایران مرکزی رسوبات کرتاسه شامل کنگلومرا، ماسه سنگ، سازندهای آهکی، گچی و شیل، سازندهای غالب می‌باشند. در مناطق جنوب و جنوب غرب بیشتر شامل سازندهای دولومیت، آهک، شیل‌های گچ‌دار، آهک‌های خاکستری، ماسه سنگ، بازالت، مارن‌های گچ‌دار، مارن، رس، سنگ‌های شیستی و تشکیلات جوان‌تر متعلق به دوره کرتاسه تشکیل شده است. در شمال‌شرق قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی ماسه‌سنگ و شیل‌های رسوبات کواترنر، به صورت مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، نهشته‌های دانه ریز و رسوبات تبخیری غالب هستند (Aghanabati, 2004).

اقلیم در مناطق مطالعاتی شمال‌غرب بیشتر سرد و نیمه خشک بوده و بارش سالیانه عمدتاً کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر و بیشتر به‌صورت برف زمستانه می‌باشد. در مناطق مرکزی اکثراً آب و هوای گرم و خشک حاکم بوده و بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است. در مناطق غرب کشور آب و هوا بیشتر سرد و نیمه خشک بوده و بارش سالیانه کمتر از ۸۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. در شمال شرق بیشتر مناطق دارای اقلیم کمی سرد تا گرم و نیمه خشک بوده و غالب نواحی مورد مطالعاتی دارای بارندگی کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشند. در جنوب

و جنوب غرب هوای گرم و خشک غالب بوده و متوسط بارش سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی متر می‌باشد.



شکل ۱- پراکنش اراضی کشاورزی تحت کشت آبی در سطح کشور (پهنه‌های آبی رنگ)

مراحل پژوهش

به منظور تعیین تناسب اراضی برای کشت محصولات گروه غلات شامل گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای و تریتیکاله در دشت‌های آبی کشور، فرآیند تجمیع، آماده‌سازی، رقومی‌سازی مطالعات خاکشناسی و محاسبه مقادیر شاخص تناسب اراضی و تعیین کلاس‌های تناسب در واحدهای خاک طی مراحل زیر در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ انجام شد:

جمع‌آوری مستندات، رقومی‌سازی و پردازش داده‌ها: تعداد ۲۸۵ گزارش مطالعات خاکشناسی با سطح دقت نیمه تفصیلی که طی سال‌های ۱۳۳۸ تا ۱۳۹۳ در موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده، جمع‌آوری گردید. نقشه‌های خاک کاغذی اسکن و زمین‌مرجع شده، سپس با یکپارچه‌سازی، لایه واحدهای خاک در محیط GIS تهیه شد. داده‌های توصیفی شامل خصوصیات مورفولوژیک خاک‌ها و نتایج مشاهدات میدانی و تجزیه‌های آزمایشگاهی حدود ۳۴۶۰ خاکرخ شاهد شامل بافت و ساختمان، سنگریزه، عمق خاک، آهک، گچ، شوری و قلیائیت و شیب اراضی بررسی شده، سپس این داده‌ها به لایه واحد خاک در محیط GIS ملحق شدند.

تهیه لایه اراضی آبی دارای مطالعات خاکشناسی: پس از تهیه لایه اراضی تحت کشت آبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۴، تصاویر ماهواره مودیس ۲۰۱۵، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ (Anonymous, 2003) و لایه پوششی کشوری کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (Anonymous, 2002)، این لایه در محیط GIS فراخوانده شده و لایه محدوده مطالعات خاکشناسی نیز به محیط اضافه گردید و shape file آن تهیه شد. در نهایت لایه اراضی کشاورزی آبی دارای مطالعات خاکشناسی به وسعت حدود ۶ میلیون هکتار برای مطالعات ارزیابی تناسب اراضی تعیین شد که شامل ۱۱۳۸۶ واحد خاک می‌باشد. برای وضعیت اقلیم هم از نقشه خرد اقلیم کشاورزی تهیه شده در موسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد (Davatgar et al., 2019). همچنین دوره فنولوژیک غلات در نقاط مختلف کشور با همکاری کارشناسان مراکز تحقیقات و سازمان‌های جهادکشاورزی با نهایت دقت و حساسیت بر مبنای پهنه‌های خرد اقلیم کشاورزی تهیه شد (Seyed Jalali et al., 2019b).

محاسبات تناسب اراضی: برای تعیین مقدار شاخص تناسب اراضی در واحدهای خاک برای کشت آبی محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، برنج، تریتیکاله، مشخصه‌های آب و هوائی شامل درجه حرارت، رطوبت‌نسبی و تابش خورشید، مشخصه‌های خاک و زمین‌نما بر اساس روش پارامتریک ریشه دوم، رابطه ۱، با استفاده از نرم‌افزار ارزیابی تناسب اراضی تهیه شده در موسسه تحقیقات خاک و آب (نرم افزار ارزیابی تناسب اراضی به صورت یک برنامه تحت ویندوز، در محیط برنامه‌نویسی Microsoft Visual Studio با زبان برنامه نویسی C# و روش اسکرام توسعه داده شده است) (Navidi et al., 2019) و با توجه به جداول‌های نیازمندی‌های اقلیم، خاک و زمین‌نما محصولات غلات مورد ارزیابی قرار گرفت (Seyed Jalali et al., 2019a). سپس بر اساس شاخص‌های تناسب به دست آمده در واحدهای خاک، نقشه تناسب اراضی برای هر کدام از محصولات تهیه گردید.

رابطه ۱)
$$LSI = R_{min}\sqrt{\frac{A}{100}\times\frac{B}{100}\times\dots}$$

در رابطه ۱، LSI: شاخص تناسب اراضی، R_{min}: حداقل درجه، A، B و ... درجه مربوط به سایر خصوصیات می‌باشد (Sys et al., 1991).

ارزیابی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی: برای ارزیابی دقت تفکیک کلاس‌ها، از تجزیه و تحلیل چندمتغیره MANOVA[1] استفاده شد. برای این منظور، مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما مورد استفاده در ارزیابی تناسب اراضی، بین کلاس‌های تناسب اراضی مورد تجزیه آماری قرار گرفت. در صورتی‌که کلاس‌ها به درستی تفکیک شده باشند خصوصیات اراضی در کلاس‌های مختلف دارای تفاوت بوده و اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های تناسب حاصل خواهد شد. برای تحلیل‌های چندمتغیره از آزمون‌های پیلایی[2]، لامبدای ویلکس[3]، هاتلینگ[4] و رویز[5] استفاده می‌شود. بررسی منابع نشان داد که در بین آزمون‌های چندمتغیره، آزمون لامبدای ویلکس از بقیه رایج‌تر، پر کاربردتر و دقیق‌تر است. در این تحقیق از آزمون فوق برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی استفاده شد. مقدار ارزش این آزمون بین صفر و یک نوسان دارد و هر چه به مقدار صفر نزدیک شود دلالت بر تفاوت بیشتر خصوصیات در گروه‌ها (کلاس‌ها) دارد و بر عکس هر چه به یک نزدیکتر باشد نشان از عدم تفاوت مقادیر خصوصیات در بین کلاس‌ها است (McClave and Sincich, 2012). همچنین برای بررسی تفاوت مقادیر شاخص‌های اقلیم، خاک و تناسب اراضی از مقادیر متوسط شاخص‌ها در کلاس‌های تناسب استفاده شد تا ضمن بررسی تفاوت شاخص‌ها بین کلاس‌های مختلف تناسب اراضی، از نظر محدودیت‌ها نیز مشخص شود که کدامیک از خصوصیات اقلیم، خصوصیات خاک یا هر دو در کلاس مورد نظر، باعث محدودیت شده است. تجزیه و تحلیل‌های آماری در محیط نرم‌افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

تناسب اراضی دشت‌های آبی کشور برای گروه محصولات غلات شامل گندم، جو، ذرت دانه‌ای، برنج و تریتیکاله مورد ارزیابی قرار گرفت تا اراضی مستعد و غیرمستعد و همچنین محدودیت‌های اراضی برای کشت محصولات فوق مشخص شود.

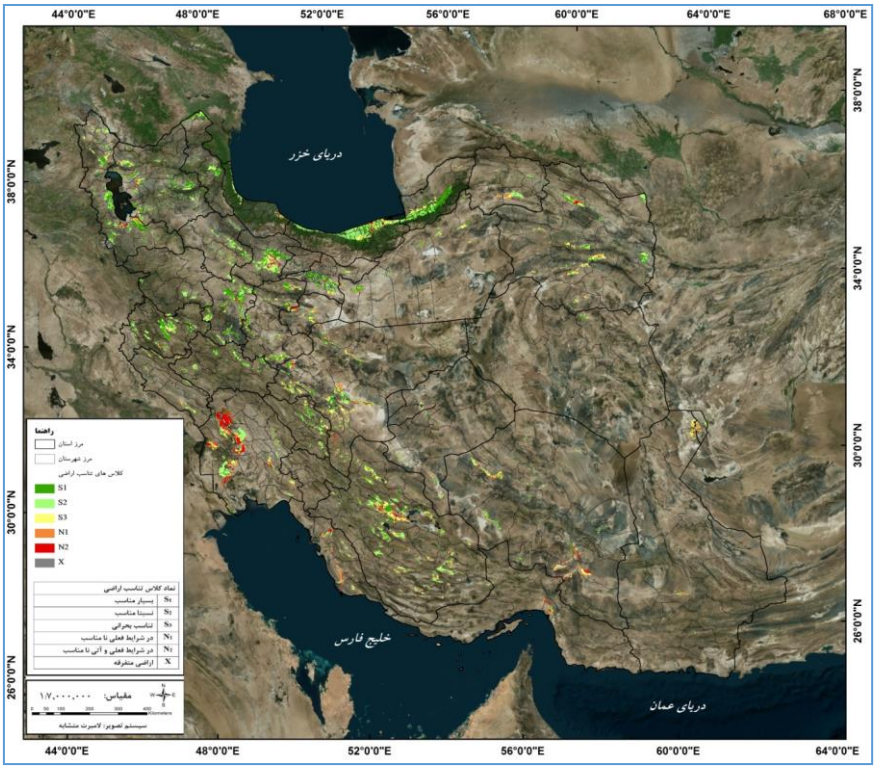
تناسب اراضی و محدودیت‌ها

مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌های اقلیم، خاک و زمین‌نمای هر محصول به درجه تبدیل شد، سپس شاخص تناسب اراضی در واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه گردید. پس از انجام محاسبات ارزیابی تناسب اراضی، کلاس تناسب اراضی در واحدهای نقشه تعیین شد که وسعت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های غالب هر کلاس برای محصولات ذکر شده در جدول ۱، همچنین توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، برنج و تریتیکاله به ترتیب در شکل‌های ۲ تا ۶ ارائه شده است.

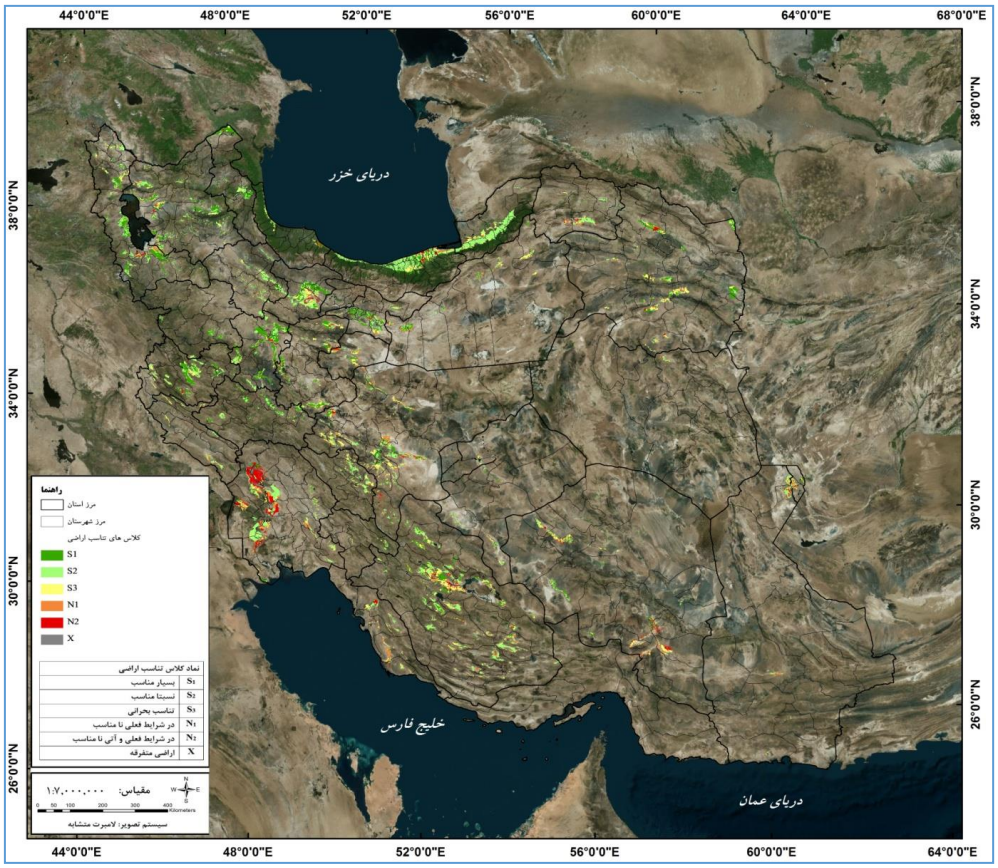
1Multivariate analysis of variance (MANOVA)
2Pillai's Trace
3Wilks' Lambda
4Hotelling's Trace
5Roy's Largest Root

جدول ۱- وسعت کلاس‌های تناسب اراضی و محدودیت‌های غالب در هر کلاس

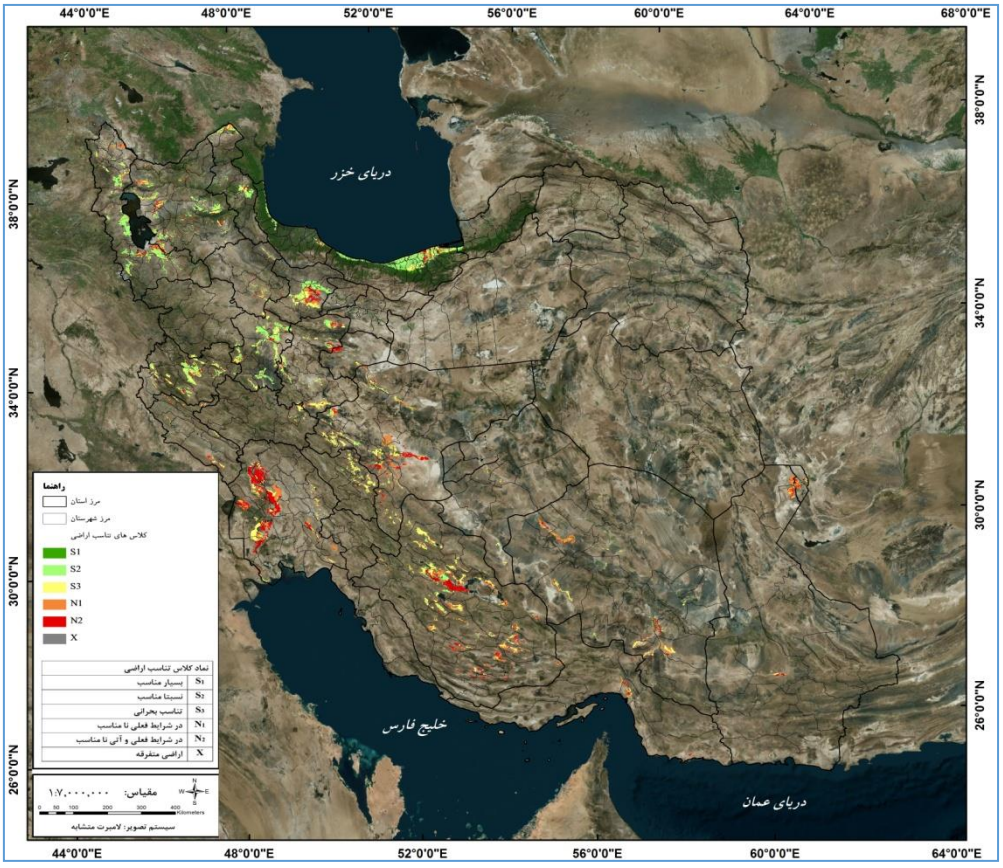
محصول	کلاس تناسب	وسعت (هکتار)	محدودیت‌های غالب
گندم	S1	۱/۴ میلیون	-
	S2	۲ میلیون	بافت، زهکشی، شیب، pH و سدیم تبادلی
	S3	۱/۴ میلیون	بافت، آهک، گچ، سدیم تبادلی، pH، زهکشی و شیب
	N1	۵۲۴ هزار	شوری و سدیمی بودن، pH، آهک و گچ
	N2	۵۰۳ هزار	pH، شوری و سدیمی بودن، بافت، آهک، گچ و زهکشی
جو	S1	۱/۳ میلیون	-
	S2	۲/۲ میلیون	بافت، زهکشی، اقلیم، شیب، pH و سدیم تبادلی
	S3	۱/۳ میلیون	بافت، آهک، گچ، سدیم تبادلی، pH، شیب و زهکشی
	N1	۵۰۱ هزار	شوری و سدیمی بودن، pH، آهک و گچ
	N2	۴۸۹ هزار	pH، آهک، گچ، شوری و سدیمی بودن و زهکشی
ذرت دانه‌ای	S1	۳۹ هزار	-
	S2	۱/۱ میلیون	اقلیم، زهکشی، بافت و pH
	S3	۱/۶ میلیون	بافت، آهک، گچ، pH، اقلیم، شیب، سدیم تبادلی و زهکشی
	N1	۸۵۳ هزار	شوری و سدیمی بودن، بافت، آهک، گچ
	N2	۹۹۹ هزار	شوری و سدیمی بودن، pH، آهک، گچ و زهکشی
برنج	S1	-	-
	S2	۳۱۰ هزار	اقلیم، زهکشی و pH
	S3	۱/۵ میلیون	pH، اقلیم، بافت، آهک، گچ، شیب و سدیم تبادلی
	N1	۸۷۷ هزار	شوری و سدیمی بودن، شیب، بافت، آهک، گچ، pH
	N2	۹۴۹ هزار	pH، شوری و سدیمی بودن، بافت، آهک، گچ، شیب و زهکشی
تریتیکاله	S1	۱۲۷ هزار	-
	S2	۵۴۹ هزار	pH، زهکشی و بافت
	S3	۳۲۵ هزار	بافت، شوری/قلیائیت، زهکشی و pH
	N1	۹۷ هزار	شوری و سدیمی بودن، pH، آهک، گچ، شیب و زهکشی
	N2	۸۳ هزار	شوری و سدیمی بودن، زهکشی، pH، آهک، گچ



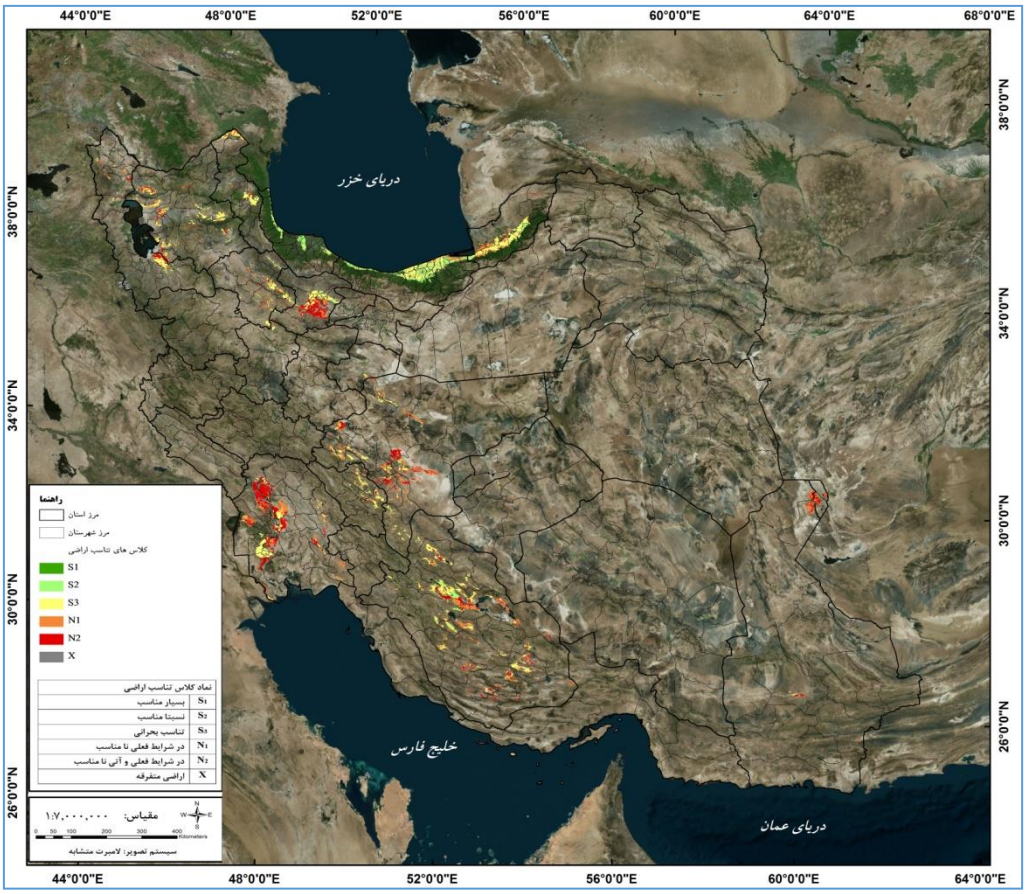
شکل ۲- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی گندم در سطح دشت‌های آبی کشور



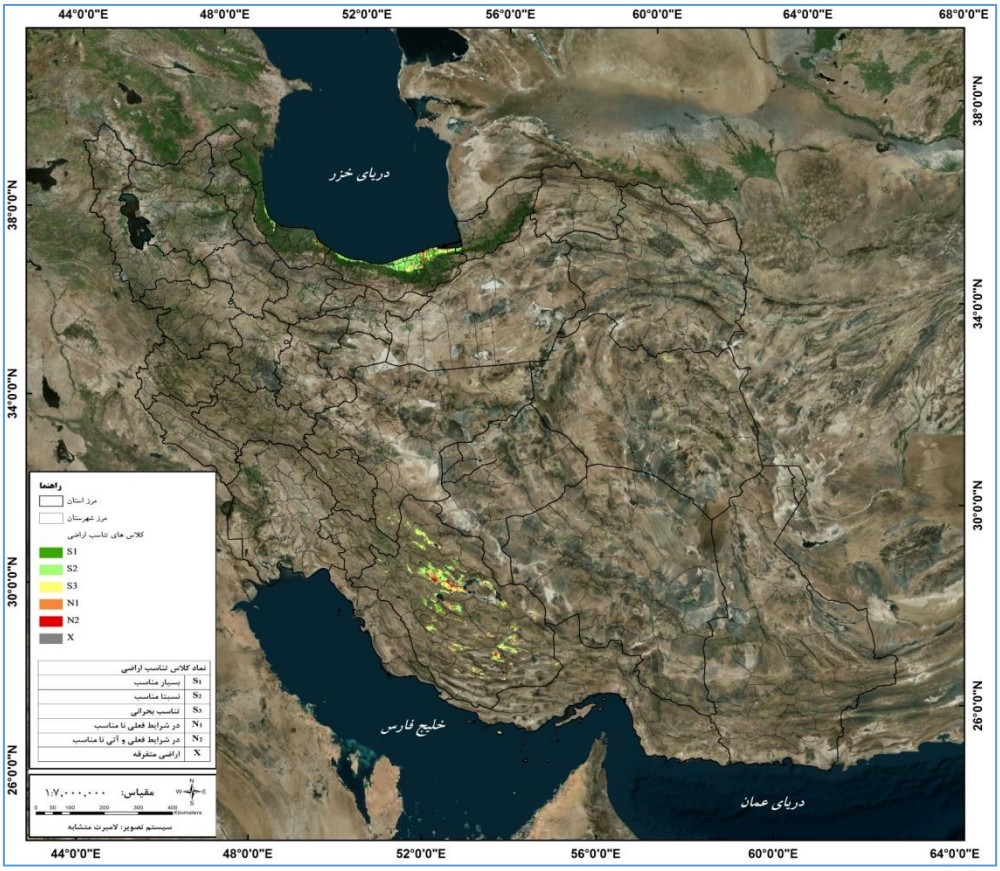
شکل ۳- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی جو در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ٤- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی ذرت دانه‌ای در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۵- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی برنج در سطح دشت‌های آبی کشور

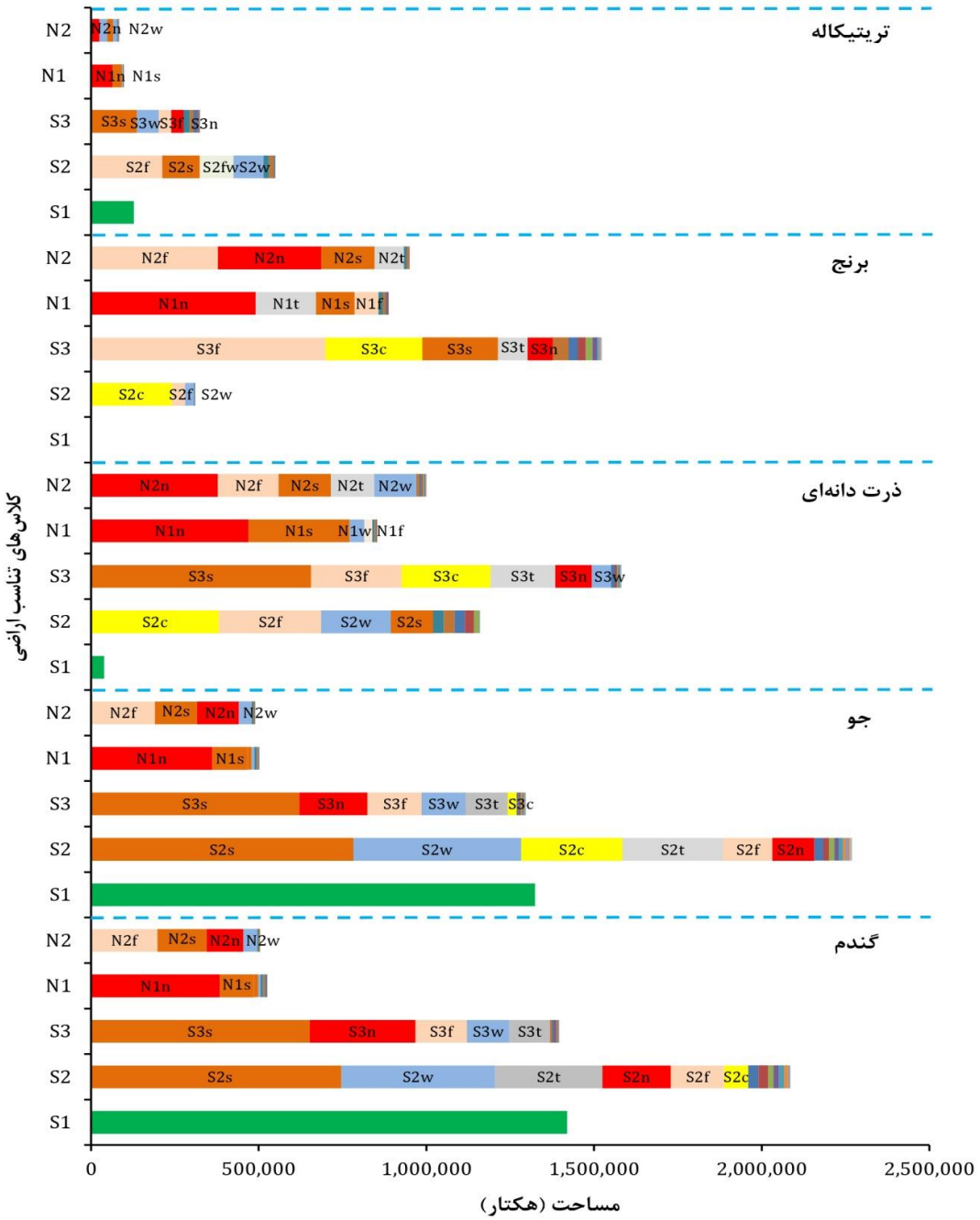


شکل ٦- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی تریتیکاله در سطح دشت‌های آبی کشور

مقایسه کلاس‌های تناسب محصولات مختلف با توجه به نوع محدودیت‌ها

همچنانکه در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت محصولات گندم و جو با عوامل فیزیکی خاک شامل بافت خاک، عمق، درصد سنگریزه، آهک و گچ محدود شده‌اند. همچنین به ترتیب از وسعت زیاد به کم در کلاس S2، زهکشی، شیب، شوری و قلیائیت، pH خاک و اقلیم منطقه برای گندم و زهکشی، اقلیم، شیب، pH خاک و شوری و قلیائیت برای جو محدودیت ایجاد کرده‌اند. بیشترین مساحت اراضی کشاورزی محدود شده در کلاس تناسب S3 برای کشت گندم به ترتیب در اثر خصوصیات فیزیکی خاک عمدتاً بافت و آهک خاک، شوری و قلیائیت، pH خاک، سیلگیری و شیب می‌باشد. بررسی کلاس‌های تناسب S2 و S3 برای این دو محصول مشخص می‌کند که مساحت اراضی محدودشده توسط عامل شوری و قلیائیت در محصول جو نسبت به گندم کمتر است و این به دلیل مقاوم بودن جو نسبت به شوری و قلیائیت خاک در مقایسه با گندم می باشد (Strawn et al., 2019). همچنین در این کلاس‌ها اراضی محدود شده در اثر شرایط اقلیمی برای کشت جو بیشتر از گندم می‌باشد باتوجه به اینکه جو نسبت به گندم به دمای بیشتری در مرحله رشد رویشی نیاز دارد بنابراین در این مرحله به دمای هوا حساس بوده و باعث محدودیت برای کشت آن در برخی مناطق شده است (Sys et al., 1993). در کلاس تناسب N1 قابلیت کشت اراضی برای هر دو محصول گندم و جو بیشتر با شوری و قلیائیت و همچنین خصوصیات فیزیکی خاک از جمله بافت و گچ خاک محدود شده‌اند. پارامترهای pH خاک، بافت و در برخی واحدها مقدار گچ خاک، شوری و قلیائیت و زهکشی مهمترین عوامل محدودکننده اراضی واقع شده در کلاس N2 بوده که قابلیت کشت وسعت زیادی از اراضی قرار گرفته در این کلاس را برای کشت آبی گندم و جو به شدت محدود کرده‌اند. پارامترهای محدودکننده اقلیمی برای کشت آبی گندم در اراضی مورد بررسی شامل متوسط دما در سیکل رشد (شهرستان‌های زرقان، بیجار، قروه، تربت‌جام، نیشابور و رشت)، دوره گلدهی (سپیدان و شاهرود) و سبزینگی (جاسک، نیک‌شهر و کنارک چابهار) می‌باشد در سایر مناطق محدودیت اقلیمی برای رشد و توسعه محصول گندم در سیکل رشد وجود ندارد. در مورد جو متوسط دما در مرحله گلدهی (زرقان فارس، گرگان، سرپل ذهاب، بیارجمند و شاهرود) و متوسط دما در مرحله سبزینگی (داران، اسفراین، کنارک چابهار، نیک‌شهر و خدابنده) باعث محدودیت شده‌اند. همچنانکه قبلاً هم اشاره شد محدودیت‌های اقلیمی قابلیت اراضی بیشتری را برای کشت جو نسبت به گندم کاهش داده‌اند.

مقایسه کلاس تناسب S2 ذرت دانه‌ای با برنج در شکل ۷ نشان می‌دهد که محدودیت غالب مربوط به پارامترهای اقلیمی است و خصوصیاتی ازجمله pH خاک، زهکشی و بافت، آهک و گچ در مراتب بعدی قرار دارند. در کلاس تناسب S3 خصوصیات فیزیکی غالباً بافت خاک و آهک در واحدهای خاک برای ذرت دانه‌ای محدودکننده بود در صورتی که برای برنج pH خاک بیشتر محدودیت ایجاد کرده است بررسی واحدهای خاک S3f مشخص کرد که خاک این واحدها عمدتاً دارای pH بیشتر از ۷/۸ هستند که این مقدار pH خاک برای برنج محدودیت بحرانی ایجاد می‌کند (Sys et al., 1993). Huang et al. (2017) در بررسی اثرات pH روی برنج به این نتیجه رسیدند که افزایش pH باعث محدودیت رشد برنج می‌شود. پارامترهای اقلیمی وسعت قابل ملاحظه‌ای از اراضی مورد بررسی در کلاس S3 برای هر دو محصول برنج و ذرت‌دانه‌ای محدود کرده‌اند در صورتی‌که محدودیت اقلیم در هیچ یک از کلاس‌های تناسب تریتیکاله مشاهده نمی‌شود. شوری و قلیائیت خاک عامل اصلی کاهش تناسب اراضی و نامناسب کردن اراضی در کلاس‌های نامناسب برای هر دو محصول برنج و ذرت‌دانه‌ای است و این حساسیت هر دو محصول به شوری خاک را نشان می‌دهد. البته محدودیت‌های دیگری همچون بافت، آهک، pH و شیب در این کلاس‌ها در شکل ۷ مشاهده می‌شود. در مورد تریتیکاله بیشتر خصوصیات حاصلخیزی از جمله pH خاک، بافت، آهک، گچ و شوری خاک‌ها باعث کاهش تناسب اراضی شده‌اند. محدودیت‌های اقلیمی در مورد برنج در اراضی آذربایجان‌های شرقی، غربی، اردبیل و گلستان، متوسط دما در مرحله توسعه و سیکل رشد، در فارس (اقلید، ارسنجان و جهرم)، خوزستان (دزفول و اهواز) و زنجان (خدابنده) رطوبت نسبی و در مناطقی از گیلان، مازندران و زرین شهر اصفهان ساعات آفتابی در طول روز می‌باشد. در مورد ذرت دانه‌ای متوسط حداقل دما در اردبیل و سراب، ساعات آفتابی در طول روز در مراغه، میانه، تبریز، مرند، بناب، ساوه، اراک، جیرفت و خدابنده و رطوبت نسبی در اراضی شیراز، داران، کاشان، سرپل ذهاب باعث افت قابلیت اراضی برای کشت شده‌اند.



شکل ۷- وسعت اراضی محدودشده با مشخصه‌های متفاوت در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی (w: زهکشی و سیلگیری، s: مشخصه‌های فیزیکی، n: شوری و قلیائیت، f: حاصلخیزی، t: توپوگرافی و c: اقلیم)

بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب

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 و زمین‌نما در واحدهای خاک مورد مطالعه، انجام شد. تجزیه چندمتغیره ذکر شده در تحقیقاتی برای بررسی دقت واحدهای نقشه خاک تفکیک شده (Esfandiarpoor Borujeni et al., 2010)، دقت تفکیک کلاس‌های حاصلخیزی در نقشه حاصلخیزی خاک ((Davatgar et al., 2012; Tripathi et al., 2015; Behera et al., 2018) و کلاس‌های تناسب اراضی تفکیک شده برای کشت آبی جو (Seyedmohammadi et al., 2019a) استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره با توجه به ارزش آماره آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۹ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر خصوصیات خاک و زمین‌نما با P-value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). ارزش آماره آزمون لامبدای ویلکس هر چقدر به صفر نزدیک باشد

1Multivariate analysis of variance (MANOVA)

نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار مقادیر مشخصه‌ها در بین گروه‌ها یا کلاس‌های تناسب مورد بررسی است. بنابراین با توجه به تجزیه آماری فوق و مقادیر آماره آزمون لامبدای ویلکس در جدول ۲، می‌توان گفت که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی برای همه محصولات به درستی و با دقت قابل قبول انجام شده است.

همچنین مقادیر متوسط شاخص‌های اقلیم، خاک و تناسب اراضی واحدهای خاک مورد بررسی برای محصولات مورد مطالعه، در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). بررسی همزمان مقادیر شاخص‌های اقلیم، خاک و تناسب اراضی در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی نشان داد که در برخی کلاس‌ها عامل اصلی محدودیت خصوصیات خاک بوده و اقلیم محدودیت ایجاد نکرده است و برای برخی کلاس‌ها هر دوی خصوصیات خاک و اقلیم باعث محدودیت شده‌اند. به عنوان مثال در کلاس تناسب S2 در محصول برنج هر دو عامل خصوصیات خاک و اقلیم باعث محدودیت شده‌اند در صورتی‌که در گندم محدودیت‌ها به طور غالب مربوط به خصوصیات خاک است.

جدول ۲- تجزیه واریانس چند متغیره با آزمون لامبدای ویلکس بین کلاس‌های تناسب اراضی (α=۰/۰۱)

محصول	آماره آزمون	F	df_H	df_E	P value
گندم	۰/۲۶۷	۴۲۸/۹	۳۶	۳۶۵۰۵	<۰/۰۰۰۱
جو	۰/۲۷۴	۴۳۱/۵	۳۶	۳۷۶۷۸	<۰/۰۰۰۱
ذرت‌دانه‌ای	۰/۴۳۲	۱۹۹/۷	۳۶	۲۸۶۳۶	<۰/۰۰۰۱
برنج	۰/۴۷۷	۱۶۷/۷	۲۷	۱۵۷۲۱	<۰/۰۰۰۱
تریتیکاله	۰/۲۶۰	۸۰/۳	۳۶	۶۶۸۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۳- مقادیر متوسط شاخص‌های اقلیم، خاک و اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی

محصول/ شاخص \ کلاس تناسب	S1	S2	S3	N1	N2
گندم					
اقلیم	۸۸/۷	۸۷/۵	۸۷/۸	۸۷/۲	۸۶/۸
خاک	۸۲/۷	۶۲/۹	۳۸/۸	۱۹/۳	۸/۱
اراضی	۸۱/۲	۶۱/۲	۳۷/۹	۱۸/۸	۷/۸
جو					
اقلیم	۹۲/۲	۸۸/۴	۸۷/۲	۸۷/۳	۸۸/۲
خاک	۸۲/۲	۶۳/۵	۳۹/۳	۱۹/۴	۸/۱
اراضی	۸۱/۶	۶۱/۴	۳۷/۹	۱۸/۹	۷/۸
ذرت‌دانه‌ای					
اقلیم	۷۹/۶	۷۱	۶۳/۷	۶۱/۷	۶۳
خاک	۸۵/۷	۶۷	۴۴/۳	۲۱/۹	۸/۱
اراضی	۷۹/۵	۵۸/۶	۳۷/۵	۱۸/۵	۶/۹
برنج					
اقلیم	–	۶۰/۵۳	۶۱/۶۱	۶۱/۳۴	۶۲/۱۶
خاک	–	۷۰/۷۹	۴۱/۵۷	۲۲/۳۲	۷/۰۹
اراضی	–	۵۵/۲۲	۳۴/۶۶	۱۸/۸۳	۶/۰۳
تریتیکاله					
اقلیم	۸۹/۱	۸۹/۳	۸۹/۸	۸۹/۷	۸۹/۵
خاک	۸۱/۸	۶۰/۶	۳۸/۴	۱۹/۲	۷/۹
اراضی	۸۲/۴	۵۹/۶	۳۷/۹	۱۸/۹	۷/۸

تفسیر مشخصه‌های اراضی در ارتباط با عملکرد محصولات در استان‌های شاخص

وسعت اراضی کشت شده به صورت آبی و مقدار تولید در سال ۱۳۹۹ برای محصول گندم، ۱/۹۶ میلیون هکتار با حدود ۸ میلیون تن تولید می‌باشد. همچنانکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در بین استان‌های مورد بررسی، خوزستان با سطح زیرکشت ۳۷۰ هزار هکتار و ۱/۴ میلیون تن تولید، دارای رتبه اول در سطح کشور است (Ahmadi et al., 2021). عمده‌ترین مشخصه‌های محدودکننده اراضی در کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل مقدار آهک خاک، بافت، زهکشی، سیلگیری و شیب می‌باشد. همچنین کلاس‌های تناسب N1 و N2 برای کشت آبی گندم در این استان مشخص کرد که مهمترین عوامل محدودکننده در این کلاس‌ها شوری و قلیائیت خاک، زهکشی و اسیدیته خاک

می‌باشد. Azadi et al. (2022) بخشی از خاک‌های خوزستان را برای کشت گندم بررسی کرده و مهمترین عوامل محدودیت را شوری و قلیائیت، آهک و pH ذکر کرده‌اند. Seyed Jalali et al. (2013) در ارزیابی پتانسیل اراضی منطقه عقیلی استان خوزستان برای کشت آبی گندم، خصوصیات شوری و قلیائیت، آهک و زهکشی را عوامل اصلی محدودیت در این منطقه بیان کرده‌اند. بررسی واحدهای خاک با محدودیت اسیدیته نشان داد (جدول ۵) که خاک این واحدها دارای مقدار آهک و سدیم تبادلی قابل ملاحظه‌ای بوده که می‌توان گفت یکی از دلایل افزایش مقدار pH در این خاک‌ها همین موضوع بوده و باعث نامناسب شدن اراضی این واحدها برای کشت آبی گندم شده است، منشاء آهک خاک‌های این مناطق عمدتاً به مواد مادری آهکی آن‌ها برمی‌گردد. جهت بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک، وجود مقداری آهک ضروری می‌باشد (Seyedmohammadi et al., 2019; Ostovari et al., 2020) از طرف دیگر در صورت افزایش بیش از حد مقدار آهک و املاح سدیمی به دلیل اثرات نامطلوب در خاک به‌طور ویژه از طریق آبکافت یون‌های سدیم و کلسیم باعث افزایش pH خاک و نامناسب شدن محیط از طریق بهم ریختن تعادل عناصر تغذیه‌ای به ویژه عناصر کم مصرف از جمله آهن و روی برای رشد و توسعه محصول خواهد شد (Sposito, 2016; Weil and Brady, 2016; Bleam, 2017; Ozkan et al., 2020). Dedeoğlua and Dengiz (2019) در مطالعه اراضی سوگولکای آناتولی ترکیه برای کشت گندم و Teshayo et al. (2020a; 2020b) در بررسی درجه تناسب اراضی آهکی مرودشت برای کشت ذرت و گندم، بهم ریختن تعادل تغذیه‌ای را به زیادی pH و آهک مربوط دانسته‌اند. همچنین Sengupta et al. (2022) فاکتور pH را به دلیل تحت تاثیر قرار دادن جذب عناصر، عامل مهمی در حاصلخیزی خاک و تولید محصول ذکر کرده و بررسی آن را در ارزیابی تناسب اراضی ضروری دانسته‌اند. طغیان رودخانه‌ها در فصول با بارندگی و نهایتاً سیلابی شدن آب‌های جاری و همچنین شدت تبخیر در مدت زمان طولانی از جمله عواملی هستند که سبب افزایش املاح خاک و مقدار شوری و قلیائیت و کاهش شدید توان اراضی شده که به دلیل غیرقابل اصلاح بودن این محدودیت‌ها، در نهایت این اراضی در کلاس نامناسب N2 قرار می‌گیرد. شوری خاک می تواند بر جذب مواد مغذی، فعالیت میکروبیولوژیکی، رشد و عملکرد اکثر محصولات به ویژه غلات اثر منفی بگذارد. تنش شوری باعث کاهش چرخه رشد و عملکرد محصول از طریق جلوگیری از جذب آب برای بزرگ شدن سلول در فرایند اسمزی، عدم تعادل در جذب کاتیون‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم برای عملکرد طبیعی سلول و جذب یون‌های سدیم و کلر در یک مسیر تنظیم نشده توسط گیاه را سبب شود (Munns and Tester, 2008; Pilevar et al., 2020).

جدول ٤- سطح زیرکشت، تولید و متوسط عملکرد محصولات در استان‌های شاخص (Ahmadi et al., 2021)

محصولات	استان	سطح زیرکشت (هزار هکتار)	تولید (تن)	متوسط عملکرد (تن در هکتار)
گندم	خوزستان	۳۷۰	۱۴۰۰۰۰۰	۳/۷۶
	فارس	۲۶۷	۱۳۰۰۰۰۰	۴/۸
	گلستان	۱۳۰	۵۲۱۰۰۰	۴
	تهران	۴۳	۲۶۳۰۰۰	۶/۰۸
	سیستان و بلوچستان	۶۷	۱۴۸۰۰۰	۲/۱۹
جو	خراسان رضوی	۱۱۷	۴۳۳۰۰۰	۳/۷
	فارس	۹۲	۳۴۴۰۰۰	۳/۶
	اصفهان	۵۰	۲۱۰۰۰۰	۴/۲
	کرمانشاه	۱۳	۶۸۰۰۰	۵/۰۴۵
	سیستان و بلوچستان	۱۱	۲۰۰۰۰	۱/۷۸
برنج*	مازندران	۲۶۹	۱۵۰۰۰۰۰	۵/۷
	گیلان	۲۲۰	۱۰۹۰۰۰۰	۴/۹۸
	خوزستان	۱۷۹	۹۰۴۰۰۰	۵/۰۵
	گلستان	۹۹	۶۰۲۰۰۰	۶/۰۴
	سیستان و بلوچستان	۳	۱۱۰۰۰	۳/۷
ذرت دانه‌ای	خوزستان	۴۹	۳۷۳۰۰۰	۷/۴
	کرمانشاه	۲۶	۲۴۵۰۰۰	۹/۳
	همدان	۰/۹۱۸	۹۰۰۰	۱۰/۰۵
	گیلان	۰/۳۱۳	۱۴۰۰	۴/۵۵

***مقادیر تولید و متوسط عملکرد مربوط به محصول برنج برای شلتوک می‌باشد.**

جایگاه دوم تولید گندم آبی در کشور برای استان فارس با ۲۶۷ هزار هکتار سطح زیرکشت و ۱/۳ میلیون تن تولید می‌باشد (Ahmadi et al., 2021). محدودیت‌های خاک و اراضی تقریباً شبیه اراضی استان خوزستان بوده و بیشتر مشخصه‌های محدودکننده در کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل بافت، آهک، شوری و سیلگیری و در کلاس‌های N1 و N2 غالباً شوری و قلیائیت، بافت و آهک می‌باشد که محدودیت‌های ذکر شده در کلاس N2 عمدتاً غیرقابل اصلاح می‌باشند. Zareian and Seyed Jalali (2009) در بررسی تناسب اراضی دشت سروستان استان فارس برای کشت آبی گندم، آهک، بافت و شوری و قلیائیت خاک را مهمترین عوامل محدودکننده برای کشت گندم در این اراضی بیان کرده‌اند. قابل ذکر است که برخی از مناطق استان فارس از جمله سپیدان و زرقان بر خلاف خوزستان برای رشد و توسعه محصول گندم دارای محدودیت در پارامترهای اقلیمی هستند. در مجموع وسعت اراضی مناسب به ویژه اراضی کلاس تناسب S1 در استان فارس بیشتر از خوزستان می‌باشد (شکل ۲) که دلیل عمده کاهش کیفیت خاک‌های استان خوزستان نسبت به فارس محدودکنندگی مشخصه‌هایی به ویژه شوری و قلیائیت که عمدتاً به دلیل سیلابی شدن اراضی و تبخیر شدید می‌باشد. اینکه مقدار تولید استان فارس با وجود سطح زیرکشت کمتر، نزدیک به مقدار تولید خوزستان است به دلیل متوسط عملکرد بیشتر استان فارس (۴/۸ تن در هکتار) در مقایسه با خوزستان (۳/۷۶ تن در هکتار) و همچنین شرایط بهتر خاک‌های زیر کشت استان فارس می‌باشد. یکی دیگر از دلایل بیشتر بودن عملکرد در اراضی استان فارس می‌تواند مدیریت بهتر اراضی باشد.

سومین استان در سطح کشور استان گلستان با سطح زیرکشت ۱۳۰ هزار هکتار و ۵۲۱ هزار تن تولید می‌باشد (Ahmadi et al., 2021)، مشخصه‌های محدودکننده این استان در مقایسه با استان‌های فارس و خوزستان کاملاً متفاوت بوده و عمدتاً فاکتور زهکشی اراضی به ویژه در کلاس‌های S2 و S3 باعث کاهش توان اراضی و افت کیفیت تناسب برای کشت آبی گندم شده است. که دلیل آن شرایط توپوگرافیکی، سنگین بودن بافت خاک و همچنین بالا بودن سطح آب زیرزمینی می‌تواند باشد. Mohammadi et al.(2008) در مطالعه اراضی منطقه گنبد گلستان برای کشت گندم، خصوصیت زهکشی را عامل مهم محدودکننده در این اراضی ذکر کرده‌اند. وسعت اراضی مناسب گلستان در مقایسه با استان‌های فارس و خوزستان به‌ویژه کلاس S1 نسبت به کل اراضی تحت کشت آبی استان‌های مذکور زیاد بوده و اراضی نامناسب در مقایسه با اراضی مناسب بسیار کمتر است (شکل ۲). به همین دلیل، مقدار تولید در واحد سطح استان گلستان (۴ تن در هکتار) بیشتر از خوزستان (۳/۷ تن در هکتار) می‌باشد. استان خراسان رضوی دارای ۱۲۶ هزار هکتار وسعت اراضی تحت کشت آبی گندم بوده و مقدار تولید آن ۵۲۸ هزار تن می‌باشد (Ahmadi et al., 2021). معیارهای محدودکننده کلاس‌های تناسب اراضی S2 و S3 در این استان عمدتاً بافت، شیب و تا حدودی شوری و قلیائیت بوده و در کلاس‌های N1 و N2 محدودیت‌ها شامل بافت، شوری و pH ناشی از سدیمی بودن برخی واحدهای خاک (اثر آبکافت سدیم) می‌باشد (Sparks, 2003; Sposito, 2016). Pilevar et al. (2020) در مطالعه بخشی از خاک‌های منطقه نیشابور خراسان رضوی محدودیت‌های غالب برای کشت گندم را شیب، شوری و قلیائیت و pH ذکر کرده‌اند. استان کرمانشاه با ۹۱ هزار هکتار اراضی تحت کشت آبی و تولید ۴۵۶ هزار تن در رتبه بعدی قرار دارد (Ahmadi et al., 2021). اراضی کلاس تناسب S2 مناطق کرمانشاه عمدتاً دارای محدودیت بافت خاک، شیب و در برخی واحدها دارای شوری قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. بافت خاک ویژگی خیلی مهمی از خاک است که محدودیت آن می‌تواند ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک، نفوذپذیری و تهویه خاک را تحت تاثیر قرار دهد (Kilic et al., 2022; Navidi et al., 2022). واحدهای خاک قرار گرفته در کلاس‌های تناسب N1 و N2 غالباً دارای مقدار pH محدودکننده بوده و این واحدها دارای مقدار آهک قابل ملاحظه‌ای می‌باشند و به نظر می‌آید مقدار کربنات این خاک‌ها باعث افزایش pH شده است که این محدودیت در کلاس N2 شدید بوده و غیرقابل اصلاح می‌باشد. Seyed Jalali (2016) در بررسی اراضی دشت مرک استان کرمانشاه برای کشت گندم آبی، شیب، سنگریزه و آهک را مهمترین عوامل محدودیت بیان کرده است. نکته قابل توجه در مورد خاک‌های خراسان رضوی و کرمانشاه این است که با وجود اینکه وسعت خاک‌های تحت کشت آبی خراسان رضوی بیشتر از کرمانشاه است ولی مقدار متوسط عملکرد خاک‌های این استان کمتر است (متوسط عملکرد خراسان رضوی، ۴/۱ تن در هکتار؛ کرمانشاه، ۵ تن در هکتار). بررسی واحدهای خاک قرار گرفته در دو استان مذکور نشان داد که محدودیت خاک‌های خراسان رضوی در مقایسه با کرمانشاه بیشتر بوده و عمده خاک‌های استان کرمانشاه در رده مناسب و وسعت زیادی از آن‌ها در کلاس S1 واقع شده‌اند (شکل ۲)، بنابراین زیاد بودن مقدار عملکرد با وسعت زیاد کلاس S1 همدیگر را تایید می‌کنند و نشان‌دهنده دقیق بودن خروجی ارزیابی تناسب اراضی می‌باشد. همچنین یکی دیگر از دلایل، مناسب بودن مدیریت زارعان در استان کرمانشاه می‌تواند باشد.

بررسی مقدار عملکرد متوسط در کشت آبی گندم در دشت‌های آبی کشور نشان داد که بیشترین عملکرد در استان تهران ۶/۰۸ تن در هکتار و کمترین آن در سیستان و بلوچستان ۲/۱۹ تن در هکتار می‌باشد (Ahmadi et al., 2021). تحلیل مقادیر مشخصه‌های واحدهای

خاک تحت کشت آبی دو استان نشان داد که مهمترین محدودیت‌ها در تهران مربوط به بافت خاک و شیب می‌باشد در صورتیکه در سیستان و بلوچستان محدودیت‌ها غالباً مربوط به اقلیم (بالا بودن متوسط دما در مرحله سبزینگی)، بافت خاک، زهکشی و مهمتر از همه مربوط به شوری و قلیائیت خاک است که عامل افزایش شوری و قلیائیت خاک‌های مورد بررسی سیستان، آبشویی از مناطق بالادست، سیلابی شدن اراضی و شدت تبخیر بوده که باعث انباشت املاح در این خاک‌ها شده است. Piri Sahragard and Pahlavan-Rad (2020) در مطالعه ویژگی‌های خاک بخش‌هایی از سیستان، دلیل زیاد شوری و قلیائیت خاک‌ها را به آبشویی اراضی بالادست و تبخیر زیاد مربوط دانسته‌اند. 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 کلاس‌های مناسب در سیستان و بلوچستان کمتر از تهران می‌باشد که نقشه تناسب اراضی (شکل ۲) این واقعیت را نشان می‌دهد و وسعت اراضی مناسب بویژه کلاس تناسب S1 در استان تهران بیشتر بوده که مقدار متوسط عملکرد در این استان مؤید این نتیجه می‌باشد.

سطح زیرکشت جو آبی در سال زراعی ۱۳۹۹ در دشت‌های آبی کشور، ۶۹۱ هزار هکتار با ۲/۶ میلیون تن تولید می‌باشد. از مجموع اراضی کشت شده آبی در کشور، خراسان رضوی با ۱۱۷ هزار هکتار و ۴۳۳ هزار تن دارای بیشترین وسعت زیرکشت جو آبی و تولید می‌باشد (Ahmadi et al., 2021). در اراضی مورد بررسی این استان هیچ محدودیت اقلیمی برای کشت آبی جو وجود ندارد. عمده‌ترین مشخصه‌های محدودکننده اراضی در کلاس‌های تناسب S2 و S3 در اراضی این استان، شامل بافت، شیب و تا حدودی pH و شوری و قلیائیت خاک می‌باشد. همچنین کلاس‌های تناسب N1 و N2 برای کشت آبی جو در این استان مشخص کرد که مهمترین عوامل محدودکننده، بافت و تا حدودی شوری و قلیائیت خاک بوده که در کلاس N2 غیرقابل اصلاح می‌باشند. Bagherzadeh and Mansouri Danshvar (2014) در بررسی و ارزیابی تناسب اراضی استان خراسان رضوی برای کشت جو، بافت خاک، شیب و شوری و قلیائیت را مهمترین خصوصیات محدودکننده اراضی ذکر کرده‌اند. مقایسه این واحدهای خاک برای دو محصول گندم و جو مشخص کرد که محدودیت شوری و قلیائیت برای جو نسبت به گندم به ویژه در کلاس‌های S2 و S3 خیلی کم بوده و این به دلیل مقاوم بودن گیاه جو در برابر شوری خاک است (Strawn et al., 2019). رتبه بعدی بیشترین سطح زیرکشت و تولید جو آبی، استان فارس با وسعت ۹۲ هزار هکتار و ۳۴۴ هزار تن تولید می‌باشد (Ahmadi et al., 2021). محدودکننده‌ترین مشخصه‌ها در کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل بافت، آهک، شیب و سیلگیری و در کلاس‌های N1 و N2 غالباً بافت، آهک و شوری و قلیائیت خاک می‌باشد. مقایسه کلاس‌های تناسب S2 و S3 گندم و جو نشان می‌دهد که محدودیت شوری و قلیائیت در این کلاس‌ها برای جو جزئی بوده و این به دلیل مقاوم بودن آن است. قابل ذکر است که برخی از مناطق استان فارس از جمله سپیدان و زرقان بر خلاف خراسان رضوی برای رشد و توسعه محصول جو آبی دارای محدودیت در پارامتر اقلیمی (کم بودن متوسط دما در مرحله گلدهی) هستند. در مجموع وسعت اراضی مناسب به ویژه اراضی کلاس تناسب S1 در استان فارس بیشتر از خراسان رضوی می‌باشد (شکل ۳)، ولی به دلیل وسعت زیاد اراضی تحت کشت در خراسان رضوی مقدار تولید آن بیشتر است. Pilevar et al. (2020) در مطالعه بخشی از خاک‌های منطقه نیشابور خراسان رضوی محدودیت‌های غالب برای کشت گندم و ذرت دانه‌ای را شیب، شوری و قلیائیت و pH ذکر کرده‌اند. Zareian et al. (2016) در بررسی تناسب خاک‌های دشت باروس فارس برای کشت گندم، جو و ذرت، خصوصیات شیب، آهک، شوری و قلیائیت و pH را باعث محدودیت و نامناسب شدن قسمت‌هایی از اراضی بیان کرده‌اند. استان اصفهان با سطح زیرکشت ۵۰ هزار هکتار و ۲۱۰ هزار تن در جایگاه بعدی تولید جو آبی قرار گرفته است (Ahmadi et al., 2021). در این استان محدودیت‌های کلاس‌های S2 و S3 غالباً بافت و شیب و در کلاس‌های N1 و N2 عمدتاً بافت و شوری یا قلیائیت خاک می‌باشد. قابل ذکر است که در منطقه داران این استان، محدودیت اقلیمی متوسط دما در مرحله سبزینگی باعث کاهش پتانسیل اراضی شده است. Ayoubi et al. (2001) در مطالعه اراضی منطقه برآآن شمالی در استان اصفهان، درجه حرارت کم در طول مرحله رویشی، بافت و شوری خاک را مهمترین خصوصیات محدودکننده برای کشت آبی جو ذکر کرده‌اند. نکته جالب توجه در بررسی محدودیت‌های این سه استان، حضور قابل ملاحظه آهک در خاک‌های استان فارس که در بیشتر واحدها هم محدودیت ایجاد کرده و از طرف دیگر محدودیت نداشتن شوری در کلاس‌های مناسب در استان‌های ذکر شده است. کرمانشاه بیشترین عملکرد جو را، ۵/۰۴۵ تن در هکتار و سیستان کمترین عملکرد، ۱/۷۸ تن در هکتار را دارد (Ahmadi et al., 2021). بررسی مقادیر خصوصیات خاک و اراضی در این دو استان مشخص کرد که شدت محدودیت‌ها در اراضی مورد ارزیابی استان سیستان و بلوچستان در مقایسه با تهران، بیشتر است و این با نتایج ما همخوانی دارد.

جدول ۵- مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط خصوصیات خاک و اراضی و مساحت اراضی مطالعه شده در استان‌های شاخص

استان	آماره	شیب	آهک	گچ	pH	EC	سدیم تبادلی	رس	سیلت	شن	مساحت*
	واحد		%		-	(dSm^{-1})		%			هزار هکتار
خوزستان	بیشینه	۸/۵	۸۹	۹۱/۵	۹/۳	۱۶۰	۹۵	۷۴	۸۸	۹۶	۶۷۹
	کمینه	۰/۵	۰/۰۳	۰	۶/۳	۰/۲	۰	۲	۱	۱	
	متوسط	۲/۵۵	۴۴/۶	۸/۱۴	۷/۸۲	۱۹/۴	۱۷/۷	۲۹	۴۴	۲۷	
فارس	بیشینه	۱۰	۸۹	۸۰	۹/۰۸	۱۸۸	۸۸	۷۲	۷۲	۹۵	۷۴۷
	کمینه	۰	۲	۰	۶/۸	۰/۲	۰/۰۴	۳	۱	۱	
	متوسط	۱/۸۸	۴۷/۲	۵/۵۶	۷/۸۱	۸/۲۹	۲۶	۲۶	۳۸	۳۶	
گلستان	بیشینه	۸	۴۷/۵	۲۲	۸/۴	۶۹/۷	۴۰	۶۸	۷۸	۹۰	۲۶۶
	کمینه	۱	۰/۵	۰	۶/۹	۰/۰۷	۰/۶	۴	۱	۱	
	متوسط	۱/۴۹	۱۶/۵	۱/۹۸	۷/۸۸	۱۱/۴	۱۶/۵	۳۵	۴۷	۱۸	
اصفهان	بیشینه	۸	۹۰	۷۰	۹/۵	۱۸۰	۹۷	۶۵	۸۰	۹۷	۴۵۹
	کمینه	۰/۵	۰	۰	۶/۹	۰/۰۴	۰	۱	۱	۱	
	متوسط	۳	۳۶	۴/۴	۷/۷	۶/۸	۲۶	۲۷	۲۹	۴۴	
کرمانشاه	بیشینه	۱۰	۷۴	۳۵	۹	۵۵	۷۰	۶۸	۶۸	۸۶	۲۴۰
	کمینه	۰	۰	۰	۷/۲	۰	۰	۱	۲/۶	۱	
	متوسط	۳	۲۹	۳	۷/۷۵	۱/۸	۶/۴	۳۸	۴۱	۲۱	
مازندران	بیشینه	۶	۴۸	۰/۱۹	۸/۸	۳۳	۲۲	۸۲	۷۸	۹۹	۳۶۳
	کمینه	۱	۰	۰	۵/۴	۰/۱۴	۰	۱	۱	۲	
	متوسط	۱/۲	۱۳	۰/۰۱	۷/۵	۱/۴	۰/۱۹	۳۵	۴۲	۲۳	
گیلان	بیشینه	۶/۵	۲۱/۵	۰	۸/۰۷	۳/۲	۰	۷۱	۵۸	۹۸	۹۹
	کمینه	۰	۷/۳	۰	۵/۴	۰/۱۱	۰	۱	۱	۵	
	متوسط	۱/۱	۱۵	۰	۶/۵۲	۰/۵۵	۰	۳۴	۳۳	۳۳	
همدان	بیشینه	۱۰	۶۵	۸۰	۱۰/۴	۷۰	۱۰۰	۸۶	۷۲	۷۸	۲۹۳
	کمینه	۱	۰/۵	۰	۷/۵	۰/۱۸	۰/۷۱	۷	۱	۱	
	متوسط	۳	۲۷/۴۵	۹/۷	۸/۰۴	۱/۹	۳۴	۳۵	۳۵	۳۱	
خراسان رضوی	بیشینه	۶/۵	۶۲/۵	۳۲	۹	۱۳۲	۷۵	۷۷	۷۱	۹۴	۲۸۸
	کمینه	۱	۰	۰	۷	۰/۲	۰/۰۴	۲	۲	۱	
	متوسط	۱/۹	۱۹	۱/۷	۸/۰۳	۷/۳	۱۶	۲۲	۳۷	۴۱	
تهران	بیشینه	۱۰	۶۲	۱۷	۹/۷	۶۵	۵۷	۶۹	۶۴	۹۰	۱۷۶
	کمینه	۱	۱/۵	۰	۷/۱	۰/۱	۱	۵	۱	۱	
	متوسط	۲	۲۰	۳/۳	۷/۹	۴/۵	۲۲	۳۲	۴۰	۲۹	
سیستان و بلوچستان	بیشینه	۳/۵	۲۷	۴۶	۹/۷	۳۷۶	۱۰۰	۶۶	۸۴	۹۵	۱۰۷
	کمینه	۰	۸	۰	۷/۱	۰/۳۴	۳	۲	۱	۱	
	متوسط	۱/۲	۱۹	۲/۳	۸/۲	۲۱/۵	۲۹	۲۳	۴۸	۳۰	

*مساحت مربوط به اراضی آبی دارای مطالعات خاکشناسی می‌باشد.

اراضی کشت شده آبی در سطح کشور در سال زراعی ۱۳۹۹ برای برنج، ۸۵۵ هزار هکتار با ۴/۵ میلیون تن تولید (شلتوک) بوده است. طبق نتایج ارزیابی تناسب اراضی، در مناطق مورد مطالعه در این تحقیق (اراضی تحت کشت آبی دارای مطالعات خاک)، اراضی با کلاس تناسب S1 وجود نداشت. این بدان معنی نیست که اراضی با کلاس تناسب S1 در ایران وجود ندارد. ممکن است در اراضی مطالعه نشده در این پژوهش، نواحی باشند که برای کشت برنج دارای کلاس تناسب S1 باشند. استان مازندران با سطح زیرکشت ۲۶۹ هزار هکتار و ۱/۵ میلیون تن شلتوک، جایگاه اول برنج را در سطح کشور دارد (Ahmadi et al., 2021). طبق نتایج ارزیابی تناسب اراضی، یکی از

مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد برنج در اراضی این استان تعداد ساعات آفتابی در طول روز می‌باشد که این محدودیت قابل اصلاح نیست. بافت و pH خاک به همراه محدودیت اقلیمی، مهمترین عوامل در کاهش قابلیت تناسب اراضی در کلاس مناسب S2 و S3 بوده و در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 غالباً محدودیت‌ها به دلیل بافت سبک خاک و شوری بوده که عمدتاً این واحدهای خاک در دشت‌های ساحلی و اراضی پست قرار گرفته است. دلیل شوری خاک این اراضی نفوذ آب دریا، تجمع زه‌آب‌های اراضی بالادست و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌باشد (Esmaeelnejad and Rezaei, 2020). رتبه دوم تولید برنج برای استان گیلان با سطح زیرکشت ۲۲۰ هزار هکتار و تولید ۱/۰۹ میلیون تن شلتوک می‌باشد (Ahmadi et al., 2021). در استان گیلان هم مثل مازندران مهمترین عامل محدودکننده رشد و توسعه برنج، کم بودن ساعات آفتابی در طول روز بوده که باعث کاهش عملکرد در بسیاری از اراضی این استان شده است. Seyedmohammadi and Esmaeelnejad (2014) و Delsouz Khaki et al. (2018) در بررسی تناسب اراضی بخشی از استان گیلان برای کشت برنج محدودیت غالب را کم بودن ساعات آفتابی در طول روز بیان کرده‌اند. همچنین عوامل بافت خاک و pH در برخی مناطق دیگر باعث محدودیت شده‌اند. Seyedmohammadi et al. (2013)، Raza et al. (2018)، Sarkar et al. (2021) و Rukhsana and Molla (2022) در بررسی‌های خود بافت خاک را عامل مهمی در کشت و کار برنج دانسته و بیان کرده‌اند که سبک بودن بافت خاک به دلیل قابلیت پایین در نگهداشت آب خاک، یک اثر منفی در کشت و کار برنج داشته و علاوه از این باعث خروج عناصر تغذیه‌ای از محیط توسعه گیاه می‌شود و در نهایت با افت عملکرد محصول، درجه تناسب اراضی برای برنج کاهش می‌یابد. ضمناً در اراضی ساحلی و مناطق پست استان گیلان، سبکی بافت و شوری خاک باعث کاهش درجه تناسب اراضی برای کشت برنج شده است. در مورد استان‌های گلستان، مازندران و گیلان آنچه حائز اهمیت است شورشدن بخش قابل ملاحظه‌ای از خاک‌های این استان‌ها به دلیل تجمع زه‌آب‌های کشاورزی اراضی بالادست در اراضی و دشت‌های پست می‌باشد که باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی نیز می‌شود. در صورتی‌که این زه‌آب‌ها به درستی مدیریت نشوند همچنانکه الان مشکلاتی به وجود آورده است احتمال بلااستفاده شدن این اراضی در آینده وجود دارد. Esmaeelnejad and Rezaei (2020) نیز در بررسی شوری آب زیرزمینی در اراضی شالیزاری بخش‌هایی از گیلان، یکی از دلایل بالا بودن مقدار شوری در اراضی پست را تجمع زه‌آب‌های اراضی بالادست ذکر کرده‌اند. Huang et al. (2017) در بررسی تاثیر pH و شوری بر عملکرد برنج به این نتیجه رسیدند که تغییرات pH خاک به دلیل به هم ریختن تعادل تغذیه‌ای عناصر خاک بیشتر از شوری عملکرد برنج را تحت تاثیر قرار می‌دهد. خوزستان با ۱۷۹ هزار هکتار و ۹۰۴ هزار تن شلتوک تولید در جایگاه بعدی قرار گرفته که محدودیت غالب اراضی آن برای کشت برنج در کلاس‌های S2 و S3 بافت، آهک و pH خاک بوده و در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 غالب عوامل محدودکننده در اراضی تحت کشت آبی برای برنج گچ، آهک، pH و شوری یا قلیائیت خاک بوده که محدودیت‌ها در کلاس N2 غالباً غیرقابل اصلاح می‌باشند. توجه به این نکته ضروری است که تمامی اراضی تحت مطالعه استان دارای محدودیت اقلیم کمبود رطوبت نسبی در مرحله کاشت و سبزینگی می‌باشد. بررسی خاک‌ها مشخص کرد خاک‌های این استان مشکل خاصی از نظر بافت خاک برخلاف مازندران و گیلان ایجاد نکرده است. منشا آهک این خاک‌ها عمدتاً مادری بوده و دلیل اصلی بالا بودن pH این خاک‌ها هم زیادی آهک و قابل ملاحظه بودن مقدار سدیم تبادلی است که محدودیت قابل توجهی برای این خاک‌ها به وجود آورده است. Ghanavati et al. (2012) شوری و قلیائیت و آهک خاک را مهمترین خصوصیات محدودکننده اراضی برای کشت برنج در منطقه شادگان استان خوزستان بیان کرده‌اند. رتبه بعدی برنج با وسعت ۹۹ هزار هکتار و تولید ۶۰۲ هزار تن شلتوک برای استان گلستان است (Ahmadi et al., 2021). در کلاس‌های S2 و S3 محدودیت عمدتاً بیشتر بودن متوسط دما در مرحله توسعه گیاه و pH بوده و در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 عمدتاً شوری خاک باعث محدودیت شدید شده است. اصلاح مقادیر شوری خاک، اراضی قرارگرفته در کلاس N1 و مدیریت مناسب آن‌ها، قطعاً در بهبود شرایط کشت برنج موثر خواهد بود. Kazemi et al. (2013) در بررسی اراضی تحت کشت آبی استان گلستان برای کشت برنج، شوری، آهک و pH زیاد و سبک بودن بافت خاک را از عوامل اصلی محدودیت ذکر کرده‌اند. مقایسه محدودیت‌های اراضی گلستان با سایر استان‌های ذکر شده مشخص می‌کند که محدودیت‌ها در این استان خیلی شدید نبوده و به همین دلیل مقدار متوسط عملکرد در این استان (۶/۰۴ تن شلتوک در هکتار) از بقیه استان‌ها بیشتر است، البته می‌توان گفت این موضوع تا حدودی به مدیریت مناسب نیز مرتبط است. بیشترین عملکرد برنج در سطح کشور برای استان گلستان (۶/۰۴ تن شلتوک در هکتار) و کمترین استان سیستان و بلوچستان (۳/۷ تن شلتوک در هکتار) می‌باشد که محدودیت‌های شدید خاک مثل شوری و قلیائیت در سیستان و بلوچستان با این مقدار عملکرد موید این نتیجه است.

سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در اراضی آبی کشور، ۱۳۲/۵ هزار هکتار با یک میلیون تن تولید بوده است. استان خوزستان با ۴۹ هزار

هکتار و ۳۷۳ هزار تن تولید، جایگاه اول را در کشور دارد (Ahmadi et al., 2021). ذرت دانه‌ای در اراضی استان فقط در رامهرمز محدودیت اقلیم زیادی رطوبت نسبی داشته در بقیه نقاط اقلیم برای کشت ذرت دانه‌ای مناسب است. در کلاس‌های S2 و S3 محدودیت غالب آهک خاک بوده که به دلیل تحت تاثیر قرار دادن pH خاک جذب عناصر غذایی کم مصرف برای گیاه دچار مشکل می‌شود و روی عملکرد تاثیر خواهد داشت (Seyedmohammadi et al., 2019b; Hoseini et al., 2019; Ostovari et al., 2020). در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 شوری یا قلیائیت، آهک و pH مهمترین محدودیت‌ها بوده و باعث کاهش پتانسیل اراضی برای کشت ذرت دانه‌ای شده‌اند. Madeh khaksar et al. (2008) در بررسی تناسب اراضی دشت گرگر خوزستان برای کشت ذرت دانه‌ای، خصوصیات شوری و قلیائیت، pH و آهک را باعث نامناسب شدن بخشی از اراضی مورد مطالعه بیان کرده‌اند. سدیمی بودن خاک و مقدار آهک زیاد، به دلیل فرایند آبکافت در افزایش واکنش خاک اثر قابل ملاحظه‌ای دارند. همچنین سدیم تبادلی زیاد در اثر مرطوب شدن خاک می‌تواند به دلیل آماس‌پذیری، باعث از هم پاشیدگی خاکدانه‌ها شده و اثر نامطلوبی روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله نفوذپذیری گذاشته و در نهایت کیفیت خاک به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت (Strawn, 2019). Navidi et al. (2022) در مطالعه بخشی از اراضی دشت قزوین برای کشت ذرت دانه‌ای یکی از دلایل نامناسب شدن اراضی را سدیمی بودن خاک‌ها و به تبع آن افزایش pH خاک ذکر کرده‌اند. استان کرمانشاه با سطح زیرکشت ۲۶ هزار هکتار و ۲۴۵ هزار تن تولید در جایگاه دوم قرار دارد (Ahmadi et al., 2021). اراضی مورد مطالعه این استان دارای محدودیت‌های اقلیمی کمبود رطوبت نسبی و ساعات آفتابی بوده، به همین دلیل دارای تناسب در سطح کلاس S1 نیستند و این محدودیت‌ها قابل اصلاح نمی‌باشند. در کلاس‌های S2 و S3 محدودیت‌های آهک، بافت و شوری یا قلیائیت قابل ملاحظه‌ای دیده می‌شود که در برخی واحدها مقدار زیاد pH در اثر زیادی قلیائیت، محدودیت ایجاد کرده است. شیب، آهک و بافت از جمله محدودیت‌های غالب در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 بوده که باعث کاهش درجه تناسب اراضی شده و تقریباً غیرقابل اصلاح بوده یا اینکه عملیات اصلاح آن‌ها هزینه قابل توجهی نیاز دارد. Fatehi et al. (2007) در بررسی اراضی دشت کرمانشاه برای کشت ذرت دانه‌ای کمبود رطوبت نسبی در مرحله بلوغ، آهک و pH خاک را عوامل اصلی کاهش پتانسیل اراضی بیان کرده‌اند. Seyedmohammadi et al. (2019a)، Pilevar et al. (2020) و Taghizadeh Mehrjardi et al. (2020) در مطالعات خود، شیب را عامل مهمی در ایجاد محدودیت در اراضی تحت کشت آبی گزارش کرده‌اند. در مورد ذرت‌دانه‌ای بیشترین عملکرد را همدان (۱۰ تن در هکتار) و کمترین عملکرد در گیلان (۴/۵ تن در هکتار) می‌باشد. یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد در اراضی گیلان، محدودیت ساعات آفتابی در طول روز در مرحله بلوغ بوده که در همه اراضی مورد بررسی می‌باشد. در صورتی‌که این محدودیت در اراضی همدان نبوده و این مقایسه محدودیت‌ها در مقدار متوسط عملکرد قابل استنباط است. لازم به توضیح است که در مورد همه محصولات مورد بررسی، نوع محدودیت‌ها در کلاس N1 در حد قابل اصلاح بوده که در صورت اصلاح خصوصیات محدودکننده درجه کلاس تناسب اراضی یک یا دو مرتبه بهبود می‌یابد اما در کلاس N2 محدودیت خصوصیات به حدی است که غیرقابل اصلاح هستند.

با توجه به مطالب ارائه شده، می‌توان گفت اصولی‌ترین مسیر برای کشاورزی پایدار و راه مطمئن در جهت اجرای برنامه‌های صحیح و اصولی تعیین مناسب‌ترین کاربری با توجه به توان و قابلیت اراضی، فرایند ارزیابی تناسب اراضی است. نقشه‌های تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی امکان پهنه‌بندی دقیق اراضی مستعد و غیرمستعد برای کشت محصولات کشاورزی را فراهم کرده، برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تسهیل می‌نمایند. بنابراین با داشتن نقشه‌های دقیق تناسب اراضی، شناسایی درجه تناسب اراضی و مشخص شدن محدودیت‌های اراضی در مناطق مختلف، برنامه پایش و مدیریت کاربردی و اصولی اراضی امکان‌پذیر و به‌طرز مناسبی بهره‌برداری بهینه و پایدار از خاک و اراضی تسهیل شده و برنامه‌ریزی‌ها در جهت حفظ منابع طبیعی و محیط زیست با دقت قابل ملاحظه‌ای اجرایی می‌شود.

نتیجه‌گیری

تعیین پتانسیل و محدودیت‌های اراضی برای کشت محصولات کشاورزی از طریق فرایند علمی و منطقی ارزیابی تناسب اراضی به دلیل تامین امنیت غذایی و حفاظت پایدار از منابع طبیعی، یک ضرورت انکارناپذیر می‌نماید. برای این منظور تناسب و استعداد اراضی به وسعت حدود ۶ میلیون هکتار واقع در دشت‌های آبی کشور برای کشت آبی محصولات غلات شامل گندم، جو، ذرت دانه‌ای، برنج و تریتیکاله با روش پارامتریک ریشه‌دوم مورد ارزیابی قرار گرفت تا ضمن شناسایی اراضی مستعد و غیرمستعد برای کشت محصولات فوق، محدودیت‌ها نیز مشخص شود. طبق نتایج به دست آمده، به طور غالب خصوصیات شوری و سدیمی بودن، بافت، آهک، گچ و pH برای رشد و توسعه

غلات در اراضی تحت کشت آبی کشور محدودیت ایجاد کرده است. مطابق نقشه تناسب اراضی برای محصولات مورد بررسی، به منظور تولید بهینه بهتر است کشت غلات در اراضی مناسب برنامه‌ریزی شده و کشت در اراضی با کلاس دارای محدودیت بستگی به نوع عامل محدودکننده داشته، بنابراین در اراضی که شدت محدودیت پارامترهای محدودکننده نظیر اقلیم، خصوصیات فیزیکی خاک از جمله بافت خاک و سیلگیری زیاد باشند به دلیل تقریباً غیرممکن بودن اصلاح این پارامترها کشت توصیه نمی‌شود. در مورد عوامل محدودکننده‌ای همانند شوری و قلیائیت با انجام عملیات اصلاحی براساس بررسی‌های اقتصادی در صورت وجود منابع آب با کیفیت مناسب، می‌تواند کلاس تناسب واحد مورد نظر ترقی یافته و بهبود عملکرد را بدنبال داشته باشد. در مجموع می‌توان گفت، به کارگیری تحلیل‌های ارزیابی تناسب اراضی و نقشه‌های به دست آمده در این پژوهش، برای تشخیص قابلیت‌ها و محدودیت‌های اراضی برای محصولات مورد مطالعه، در راستای استفاده بهینه و پایدار از منابع اراضی، کاربرد داشته و ضمن کمک به استفاده بهینه از منابع تولید، می‌تواند برای کارشناسان و بهره‌برداران ملاک تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر از طرح تحقیقاتی ملی با عنوان "تعیین تناسب اراضی برای محصولات زراعی و باغی در دشت‌های آبی کشور" 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.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان مقاله وجود ندارد"

REFERENCES

Aghanabati, S.A. (2004). Geology of Iran. Iranian Geology Organization Press, 640p.

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Mohammadnia Afroozi, Sh., Esfandyaripour, E. and Abbas Taghani, R. (2021). *Agricultural Statistics*, Vol. 1, Field Crops. Agricultural Ministry, 97p. (In Persian)

Akbari M, Tahmoures M, Azma A, Kiyanfar R, and Tat shahdost F. (2022). Land capability assessment by combining LESA and GIS in a calcareous watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 404.

Anonymous. (2002). Country cover layer of land use with a scale of 1:25000. National Cartographic Center, Iran. (In Persian)

Anonymous. (2003). Land use map with a scale of 1:250,000. Agricultural Planning and Economic Research Institute, Ministry of Jihad Agriculture. (In Persian)

Ayoubi, S., Jalalian, A. Givi, J. (2001). Qualitative Land Suitability Evaluation for Important Agricultural Crops of North Baraan Region in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 5(1), 57-75.

Azadi, A., Banineme, J. and Seyed Jalali, S.A. (2022). Land suitability assessment for wheat in some saline lands in the south of Khuzestan province. *Iranian Journal of Soil Research*, 35(3), 217-234.

Bagherzadeh, A. and Mansouri Daneshvar, M.R. (2014). Qualitative land suitability evaluation for wheat and barley crops in Khorasan-Razavi province, northeast of Iran. *Agricultural Research*, 3(2),155-164.

Behera, S.K., Mathur, R.K., Shukla, A.K., Suresh, K. and 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.

Bleam, W.F. (2017). *Soil and Environmental Chemistry*. 2nd edition, Academic Press, 586p.

Davatgar, N., Navidi, M.N., Asadi Oskouei, E. and Haghighatd, M. (2019). Map of Agricultural Climate Zones of Iran. *Soil and Water Reseach Institute of Iran*.

Davatgar, N., Neishabouri, M.R. and 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.

De la Rosa, D. and Sobral, R. (2008). Soil Quality and Methods for its Assessment. In: Braimoh, A.K. and Vlek, P.L.G. (eds) Land Use and Soil Resources. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6778-5-9

Dedeoğlua, 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.

Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A. and Torabi Gol sefidi, H. (2018). Land Suitability Evaluation and Inherent Soil Fertility Quality for Rice Cultivation in Paddy Fields of Shaft and Fouman Counties. Iranian Journal of Soil Research, 32(1), 115-127.

Esfandiarpoor Borujeni, I., Mohammadi, J., Salehi, M.H., Toomanian, N. and Poch, R.M. (2010). Assessing geopedological soil mapping approach by statistical and geostatistical methods: A case study in the Borujen region, Central Iran. *Catena* 82, 1-14.

Esmaeelnejad, L. and Rezaei, H. (2020). Salinity assessment of groundwater for irrigation to prevent soil salinization. *Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 38(8), 819-829.

Etedali, S. and Givi, J. (2013). Qualitative and economical land suitability evaluation for important field crops in shahrekord area, using ALES program. *Journal of Water and Soil*, 28(1), 10-21. (In Persian)

Fatehi, Sh., Ghaderi, J. and Seyed Jalali, S.A. (2007). Evaluation of land suitability and determination of production potential for corn in Kermanshah plain. Proceedings of the 10th Congress of Soil Sciences of Iran, Karaj, 25-27 Aguest, 287-288.

Ghanavati, Gh., Lnadi, A. and Baninemeh, J. (2012). Qualitative and quantitative evaluation of land suitability for major agricultural and horticultural crops in Shadgan region. Proceedings of the first national conference on agriculture in difficult environmental conditions, Islamic Azad University, Ramhormoz branch, Iran.

Hoseini, Y. (2019). Use fuzzy interface systems to optimize land suit-ability evaluation for surface and trickle irrigation. *Information Processing in Ariculture*, 6(1), 11-19.

Huang, L., Liu, X., Wang, Z., Liang, Z., Wang, M., Liu, M., Suarez, D.L. (2017). Interactive effects of Ph, EC and nitrogen on yields and nutrient absorption of rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural Water Management*, 194, 48-57

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh. Sadeghi, S. (2013). Agro-ecological zoning of agricultural lands in Golestan province for rice cultivation using geographic information system and hierarchical analysis process. The 15th National Rice Conference of the Iran, 19-20 March, 5p.

Kilic, O.M. and Gunal, H. (2021). Spatial-temporal changes in rainfall erosivity in Turkey using CMIP5 global climate change scenario. *Arabian Journal of Geoscience* 14, 1079.

Kilic, O.M., Ersayin, K., Gunal, H., Khalofah, A. and Alsubeie, M.S. (2022). Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (Triticum aestivum) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2634-2644.

Madeh Khaksar, S., Aayenehband, A. and Albaji, M. (2008). Qualitative evaluation of land suitability for the cultivation of grain maize and summer watermelon in the Gargar plain of Khuzestan. *Research in Agricultural Sciences*, 1(1), 58-71.

McClave, J.T. and Sincich, T. (2012). Statistics. 12th edition, Pearson Press, 840p.

Mohammadi, A., Pashaei Avval, A., Mosavati, S.A. and Sadeghi, S. (2008). Qualitative land suitability evaluation for the main agronomic crops in Gonbad-e-Kavous, Northeast-Iran. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 14(5), 1-13.

Moisa, M.B., Tiye, F.S., Dejene, I.N. and Gemeda, D.O. (2022). Land suitability analysis for maize production using geospatial technologies in the Didessa watershed, Ethiopia. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 34-46.

Mugiyo, H., Chimonyo, V.G.P., Sibanda, M., Kunz R., Nhamo L., Masemola, C.R., Dalin, C., Modi, A.T., Mabhaudhi, T. (2021). Multi-criteria suitability analysis for neglected and underutilised crop species in South Africa. *PLoS ONE*, 16(1), e0244734.

Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.

Navidi, M.N., Bazargan, K., Seyedjalali, S.A., Zeiaddini, A., Eskandari, M., Delsouz, B., Golshani, A. and Hosseini, M.H. (2019). Design and preparation of land suitability evaluation software for field and orchard crops of the country. Soil and Water Research Institute, Report No, 56418, 57p. http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18858675.

Navidi, M.N., Seyedmohammadi, J. and 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*, doi:10.1080/00103624.2022.2072511.

Navidi, M.N., Seyedmohammadi, J., Bazargan, K., Khosravinejad, A. and Delsouz khaki, B. (2021). Identification of Land Potential and Characterizing Limitations for Irrigated Wheat Cultivation in a Part of Qazvin Plain Land Using Fuzzy and AHP Techniques. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(4), 943-955. (In Persian)

Ostovari, Y., Moosavi, A.A., Pourghasemi, H.M. (2020). Soil loss tolerance in calcareous soils of a semiarid region: evaluation, prediction, and influential parameters. *Land Degradation & Development*, 31(15),

2156-2167.
Ozkan, B., Denqiz, O. and Turan, I.D. (2020). Site suitability analysis for potential agricultural land with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis in regional scale under semi-arid terrestrial ecosystem. *Scientific Reports*, 10, 22074.
Pilevar, A.R., Matinfar, H.R., Sohrabi, A. and Sarmadian, F. (2020). Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators*, 110, 105887.
Piri Sahragard, H. and Pahlavan-Rad, M.R. (2020). Prediction of Soil Properties Using Random Forest with Sparse Data in a Semi-Active Volcanic Mountain. *Eurasian Soil Science*, 53, 1222-1233.
Raza, S.M.H., Mahmood, S.A., Akhtar Khan, A. and Liesenberg, V. (2018). Delineation of potential sites for rice cultivation through multi-criteria evaluation (MCE) using remote sensing and GIS. *International Journal of Plant Production*, 12, 1-11.
Rukhsana, R. and Molla, S.H. (2022). Investigating the Suitability for Rice Cultivation Using Multi-Criteria Land Evaluation in the Sundarban Region of South 24 Parganas District, West Bengal, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(2), 359-372.
Safari, Y., Delavar, M.A. and Noori, Z. (2017). Land Suitability Evaluation for Irrigated Wheat in Zanjan Plain Using Limitation Scores. *Journal of Water and Soil*, 31(2), 522-532. (In Persian)
Saha, S., Sarkar, D., Mondal, P. and Goswami, S. (2021). GIS and multi-criteria decision-making assessment of sites suitability for agriculture in an anabranching site of sooin river, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 571-588.
Sarkar, B., Das, P., Islam, N., Basak, A., Debnath, M. and Roy, R. (2021). Land suitability analysis for paddy crop using GIS-based Fuzzy-AHP (F-AHP) method in Koch Bihar district, West Bengal. *Geocarto International*, doi:10.1080/10106049.2021.2007299.
Sengupta, S., Mohinuddin, S., Arif, M., Sengupta, B. and Zhang W. (2022). Assessment of agricultural land suitability using GIS and fuzzy analytical hierarchy process approach in Ranchi District, India. *Geocarto International*, doi:10.1080/10106049.2022.2076925.
Seyed Jalali, S.A. (2016). Assessment of suitability of land for wheat in Merak plain, Karkheh sub-basin, Kermanshah province. Proceedings of the 5th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran.
Seyed Jalali, S.A., Navidi, M.N., Zeiadini Meymand, A. and Mohammad Esmail, Z. (2019a). *Field Crops Requirements*. Soil and Water Research Institute Press, 262p. (In Persian)
Seyed Jalali, S.A., Navidi, M.N., Zeiadini Meymand, A. and Mohammad Esmail, Z. (2019b). *Field Crops Phenology*. Soil and Water Research Institute Press, 605p. (In Persian)
Seyed Jalali, S.A., Sarmadian, F. and Shorafa, M. (2013). Modeling of Land Production Potential for Irrigated Winter Wheat in Aghili Plain, Khuzestan Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(4), 427-439. (In Persian)
Seyedmohammadi, J. (2018). Applying fuzzy multi-criteria decision making methods and their optimization with genetic algorithm to evaluate the land suitability of Dasht-e-Moghan. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian)
Seyedmohammadi, J. and Esmaeelnejad, L. (2014). Qualitative and quantitative land suitability evaluation for rice production in central areas of Guilan province. *Iranian Journal of Water and Soil Science*, 24(1), 165-181.
Seyedmohammadi, J., Akef, M., Eftekhari K. and Ramezanpour, H. (2013). Physical and chemical characteristics of paddy soils in a toposequence. *Journal of Applied Crop Research*. 99, 52-60. (In Persian)
Seyedmohammadi, J., Jafarzadeh, A.A., Sarmadian, F., Shahbazi, F. and Ghorbani, M.A. (2017). Comparing the efficiency of TOPSIS, AHP and square root methods in cultivation priority determination for wheat, barley and maize under sprinkler irrigation in Dasht-e-Moghan. *Soil and Water Science*, 27(2), 45-59. (In Persian)
Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A. and McDowel, R.W. (2019a). Integration of ANP and Fuzzy set techniques for land suitability assessment based on remote sensing and GIS for irrigated maize cultivation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65, 1063-1079.
Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A. and McDowel, R.W. (2019b). Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma*, 352, 80-95.
Sparks, D.L. (2003). *Environmental Soil Chemistry*. 2nd edition, Academic Press, 352p.

Sposito, C. (2016). *The Chemistry of Soils*. 3rd edition, Oxford University Press, 272p.

Strawn, D.G., Bohn, H.L. and O'Connor, G.A. (2019). *Soil Chemistry*. 5th Edition. Wiley-Blackwell, 376p.

Sys, C., Van Ranst, E. and Debaveye, J. (1991). *Land evaluation*. Part I: principles in land evaluation and crop production calculations. Agricultural Publications, No 7. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium.

Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. and Beernaert, F. (1993). *Land Evaluation*. Part III: Crop requirements. Agricultural Publications, No 7. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Rasoli, L., Kerry, R. and Scholten, T. (2020). Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine-learning models. *Agronomy*, 10(573), 1-20.

Tapia, J.F.D. Doliente, S.S. and Samsatli, S. (2021). How much land is available for sustainable palm oil? *Land Use Policy*, 102, 105187

Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M. and Eftekhari, M. (2020a). 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(5), 332-338.

Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., and Akbari, M. (2020b). Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran. *Environmental Management*, 66, 364-376.

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.

Weil, R.R. and Brady, N.C. (2016). The Nature and Properties of Soils. 15th edition, Pearson Education Limited, 1104p.

Zareian, Gh. and Seyed Jalali, S.A. (2009). Quantitative suitability of land and wheat production potential in salty soils of Sarostan (Fars Province). Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress, Gorgan, 21-24 July, 645-647.

Zareian, Gh., Farpour, M.H. and Moghimi, A. (2016). Suitability of qualitative lands of Baros plain for wheat, corn, barley and cotton crops in Fars province. 2nd national conference on sustainable management of soil resources and environment (quality, health and security of soil), https://civilica.com/doc/558240/.