



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources



Soil Science Society of Iran

(OPEN ACCESS)

Prioritization of surface and subsurface physicochemical characteristics for the management of saline-sodic soils based on the fuzzy analytic hierarchical process

Maryam Zahedifar*

* Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Range and Watershed Management (Nature Engineering), Faculty of Agriculture, University of Fasa, Fasa, Iran. E-mail: zahedifar@fasau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Soil, as one of the important components of the environment and a place for the growth, development, and maintenance of plants, affects its quality and performance, and this issue will change with changes in soil properties. Therefore, their study and prioritization should be considered. When there is a need to review and prioritize an option among different options, it is necessary to determine standard weights to make a correct and accurate choice. One of the appropriate methods that allows the determination of weights is the analysis hierarchical process. Due to the ambiguous nature of the phenomena and processes related to the soil, the use of systems based on fuzzy laws is developing. Considering the extent of saline and sodic soils in the country and the need for their proper management, it is very necessary to prioritize and find the most important soil properties. Therefore, the current research was carried out to determine the degree of influence of the physical and chemical properties of the surface and subsurface saline and sodic soils using the fuzzy analytical hierarchy process.
Article history: Received: 09.27.2024 Revised: 02.25.2025 Accepted: 03.09.2025	
Keywords: Consistency ratio, Fuzzy analytical hierarchy process, Pairwise comparison matrix, Saline and sodic soil	
	Materials and Methods: Surface and subsurface soil samples including a collection of saline-sodic and normal soils located 21 km southwest of Sarvestan City, Fars province, were collected regularly. Their important physical and chemical properties were measured. To prioritize the physical and chemical properties of the soil, the fuzzy analysis hierarchy method was used. To determine the most influential soil characteristics, 3 levels were defined including the objective of the problem, the chemical and physical properties of the surface and subsurface soil. Questionnaires and pairwise comparisons were completed by experts. First, comparisons were made between the main criteria in reaching the goal, and the comparison of the sub-criteria of each criterion. Then, by weighting the criteria and sub-criteria and comparing the percentage of influence of each, the importance of the features was determined.
	Results: The minimum and maximum inconsistency rates calculated by the median and geometric matrix methods were 0.013 and 0.099, respectively. Therefore, the comparisons made in this research had an acceptable consistency. Among all the criteria studied, surface chemical

properties were ranked first in importance, surface physical properties were ranked second, subsurface chemical properties were ranked third, and subsurface physical properties were ranked fourth in priority and importance. Among all the sub-criteria, the most important and influential percentage (18.97%) was related to soil organic matter, and the lowest percentage (0.2%) was obtained for silt.

Conclusion: The overall results showed that based on the fuzzy hierarchical analysis process; in order to better manage the studied saline and sodic soils, priority is given to the soil chemical properties, especially the percentage of organic matter.

Cite this article: Zahedifar, Maryam. 2025. Prioritization of surface and subsurface physicochemical characteristics for the management of saline-sodic soils based on the fuzzy analytic hierarchical process. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (3), 27-50.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22824.2165

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اولویت‌بندی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی لایه‌های سطحی و زیر سطحی خاک برای مدیریت خاک‌های شور سدیمی بر اساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

مریم زاهدی‌فر*

* نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. رایانامه: zahedifar@fasau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: خاک به عنوان یکی از اجزای مهم محیط زیست و محل رشد، نمو و نگهداری گیاهان، بر کیفیت و عملکرد گیاهان و محیط زیست تأثیر می‌گذارد و با تغییر در ویژگی‌های خاک این موضوع تغییر خواهد کرد. بنابراین مطالعه و اولویت‌بندی ویژگی‌های خاک باید مورد توجه قرار گیرد. در مواقعی که نیاز به بررسی و اولویت‌بندی گزینه‌ای از بین گزینه‌های مختلف باشد، تعیین وزن‌های استاندارد برای انتخاب صحیح و دقیق ضروری است. یکی از روش‌های مناسبی که امکان تعیین وزن‌ها را فراهم می‌کند، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است. با توجه به ماهیت مبهم پدیده‌ها و فرآیندهای مربوط به خاک، استفاده از سامانه‌های مبتنی بر قوانین فازی در حال توسعه است. با توجه به گستردگی خاک‌های شور و سدیمی در کشور و لزوم مدیریت صحیح آن‌ها، اولویت‌بندی و یافتن مهم‌ترین ویژگی‌های خاک بسیار ضروری است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تعیین میزان تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انجام شد.
تاریخ دریافت: 1403/07/06 تاریخ ویرایش: 1403/12/07 تاریخ پذیرش: 1403/12/19	مواد و روش‌ها: نمونه‌های خاک سطحی و عمقی شامل مجموعه‌ای از خاک‌های شور- سدیمی و نرمال واقع در 21 کیلومتری جنوب غربی شهرستان سروستان، استان فارس، در فواصل معین جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم آن‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور اولویت‌بندی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. برای تعیین تأثیرگذارترین ویژگی خاک، سه سطح شامل هدف مسأله، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک لایه سطحی و لایه زیرسطحی تعریف شد. پرسشنامه‌ها و مقایسه‌های زوجی توسط کارشناسان تکمیل شد. ابتدا بین معیارهای اصلی در رسیدن به هدف و مقایسه زیرمعیارهای هر معیار مقایسه انجام شد. سپس با وزندهی به معیارها و زیرمعیارها و مقایسه درصد تأثیرگذاری هر یک، اهمیت ویژگی‌ها مشخص شد.
واژه‌های کلیدی: خاک شور و سدیمی، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، ماتریس مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری	

یافته‌ها: حداقل و حداکثر میزان ناهماهنگی محاسبه‌شده با روش‌های ماتریس میانه و هندسی به ترتیب ۰/۰۱۳ و ۰/۰۹۹ بود. بنابراین مقایسه‌های انجام شده در این پژوهش از همسانی قابل قبولی برخوردار بودند. در بین تمامی معیارهای مورد مطالعه، ویژگی‌های شیمیایی لایه سطحی از نظر اهمیت در رتبه اول، ویژگی‌های فیزیکی لایه سطحی در رتبه دوم، ویژگی‌های شیمیایی لایه زیرسطحی رتبه سوم و ویژگی‌های فیزیکی لایه زیرسطحی در رتبه چهارم اولویت و اهمیت قرار گرفتند. از بین تمامی زیرمعیارها، بیش‌ترین درصد تأثیر (۱۸/۹۷ درصد) مربوط به ماده آلی خاک و کم‌ترین درصد (۰/۲ درصد) مربوط به سیلت بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد که بر اساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌منظور مدیریت بهتر خاک‌های شور و سدیمی مورد مطالعه، اولویت با ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌ویژه درصد مواد آلی است.

استناد: زاهدی‌فر، مریم (۱۴۰۴). اولویت‌بندی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک برای مدیریت خاک‌های شور سدیمی بر اساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۵ (۳)، ۲۷-۵۰.

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22824.2165



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و واقع شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین، میزان تبخیر- تعرق نسبت به بارندگی سالیانه بیشتر بوده و این موضوع سبب افزایش تبخیر و تجمع بیش از حد نمک‌ها در سطح خاک می‌شود. وجود املاح در خاک با توجه به تامین عناصر غذایی برای رشد گیاه بااهمیت است، ولی اگر از حد مناسبی بیش‌تر شود مشکلات زیادی برای آن ایجاد می‌کند که از آن جمله می‌توان به کاهش توانایی جذب آب توسط گیاه و سمیت برخی عناصر اشاره کرد. در میان عناصر، نقش سدیم بسیار تعیین‌کننده خواهد بود. از آنجایی که از یکسو غلظت زیاد سدیم در محلول خاک و سدیم جذب سطحی شده توسط ذرات خاک، بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های شور و سدیمی اثر دارند، از سوی دیگر خاک به عنوان یکی از اجزاء مهم محیط زیست و مکانی برای رشد، توسعه و نگهداری گیاه، بر کیفیت و عملکرد آن موثر است و این موضوع با تغییر در ویژگی‌های خاک، تغییر خواهد کرد (1)، بنابراین مطالعه و اولویت‌بندی این ویژگی‌ها در چنین شرایطی از اهمیت زیادی برخوردار است.

زمانی که نیاز به بررسی تأثیرگذاری و اولویت‌بندی یک گزینه در میان چندین گزینه باشد، لازم است وزن‌های نسبی معیارها تعیین شود تا انتخاب صحیح و دقیق، انجام شود. یکی از روش‌های مناسب که اجازه تعیین وزن‌ها را می‌دهد، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی¹ (AHP) است (2). با استفاده از این روش می‌توان معیارها و گزینه‌های مؤثر در انتخاب گزینه مناسب‌تر، در تصمیم‌گیری‌های گروهی را به‌خوبی تعیین کرد. بر اساس یافته‌های گاس و راپساک (2004)، روش تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند

در رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌های متفاوت در تصمیم‌گیری‌ها، مورد استفاده قرار گیرد (3). وانگ و چن (2007) بیان کردند روش AHP توانایی خوبی در ارزیابی‌های چندمعیاره دارد ولی نمی‌تواند نقش عدم قطعیت‌های موجود در مقایسات زوجی در فرآیندهای انتخاب را بررسی کند (4). بنابراین در مواردی که در اولویت‌بندی معیارها، تردید وجود داشته باشد، از تئوری‌های فازی استفاده می‌شود (5). علاوه بر این، استفاده از منطق فازی در مواردی که برای معیارهای مختلف، مقیاس‌های متفاوتی تعریف می‌شود، به استانداردسازی مقیاس‌ها کمک می‌کند. بر اساس نظر چانگ (1996)، استفاده از روش‌های چندمعیاره فازی که به‌صورت توام از منطق فازی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌کند، مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار گرفته است (6). مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی² (FAHP) یکی از کارآمدترین این روش‌ها معرفی شده و این نتایج توسط بسیاری از پژوهش‌گران تأیید شده است (7).

از آنجایی که ویژگی‌های مختلف خاک، دارای تأثیر متفاوتی بر کیفیت خاک، حاصلخیزی آن، رشد و عملکرد گیاه هستند، بنابراین باید هر کدام بر اساس درجه اهمیت وزن‌دهی شوند. به همین سبب برای محاسبه وزن‌ها، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده می‌شود که توسط ساعتی (1980) تعریف شده است (8). این فرآیند مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری به روشی منطقی است به‌گونه‌ای که این روش از یکسو وابسته به نظرات شخصی و طراحی سلسله‌مراتبی یک موضوع بوده و از سوی دیگر با منطق، درک و تجزیه، برای تصمیم‌گیری نهایی و قضاوت پایانی در ارتباط است (9). با توجه به طبیعت مبهم پدیده‌ها و فرآیندهای مربوط به خاک یا تقریبی بودن مقادیر اندازه‌گیری‌شده ویژگی‌های مختلف خاک

و عدم اطمینان بر قطعیت داده‌های به‌دست آمده، استفاده از سامانه‌های بر پایه قوانین فازی رو به رشد و توسعه است و پژوهش‌گران مختلفی از این توانایی در علوم خاک استفاده می‌کنند (10). زاده (1965) روش فازی را به عنوان یک روش کاربردی و عملی توسعه داد (11). در این روش، تعیین وزن، به عنوان یک فاز اساسی، از مقایسه ماتریس‌ها انجام شده و از آن برای رتبه‌بندی گزینه‌های موجود به همراه نمرات مدیریت‌شده توسط گزینه‌های جایگزین برای هر معیار، استفاده می‌شود. برخی از پژوهش‌گران از این نظریه برای تعیین شاخص‌های کیفیت خاک استفاده کردند (12 و 13).

اعمی ازغدی و همکاران (2010) با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی، نقشه حاصلخیزی خاک تحت کشت گندم در خوزستان را بر اساس کربن آلی، فسفر و پتاسیم خاک تهیه کردند (14). نقش مثبت پتاسیم و فسفر قابل‌استفاده، ظرفیت تبادل کاتیونی، ازت کل و کربن آلی بر عملکرد برنج توسط پژوهش‌گران مختلفی گزارش شده است (15 و 16). پژوهش‌گران از روش فازی در علوم زیستی و خاک به منظور ارزیابی اراضی، طبقه‌بندی حاصلخیزی خاک، مباحث زمین آماری و تعیین شاخص‌های کیفیت خاک استفاده کرده‌اند (17، 18، 19 و 20). بر اساس نظر دورو و همکاران (2010)، pH، غلظت کل نمک، آهک و ماده آلی خاک عواملی هستند که به‌طور مستقیم بر حاصلخیزی خاک نقاط مختلف ترکیه اثر داشتند (21). کوایون (2012) قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی و شیب زمین را به عنوان متغیرهای مؤثر بر حاصلخیزی خاک معرفی کرد (19). مواله و چاون (2014)، 17 عوامل کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، مس، روی، بور، مولیبدن، آهک، شوری، ظرفیت تبادل کاتیونی، منگنز، ماده آلی و pH را بر حاصلخیزی مؤثر دانستند (22). مالیک و همکاران (2022) در پژوهشی با هدف تهیه نقشه

حاصلخیزی خاک با کمک مدل‌های FAHP و fuzzy logic-Delphi (FL) در مناطق مختلف هندوستان (اراضی شور و غیرشور)، تأثیر ویژگی‌های فیزیکی (شن، سیلت، رس و جرم مخصوص ظاهری)، شیمیایی (ظرفیت تبادل کاتیونی، pH و کربن آلی)، توپوگرافی (ارتفاع) و عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم، سدیم، روی و بور) را بررسی کردند. آنان در برخی از مناطق مورد مطالعه با خاک‌های شور و سدیمی مواجه شدند و بیان کردند انجام مطالعه حاضر در این شرایط ضروری‌تر است، زیرا نتایج این بررسی به برنامه‌ریزان کاربری اراضی، کشاورزی، آبی‌پروری و باغداری در اداره منطقه کمک خواهد کرد. آنان پیشنهاد کردند با کشت گیاه وتیور بومی می‌توان به خروج نمک‌ها و آلاینده‌ها از خاک کمک کرد (23).

نبوی و همکاران (2021) حاصلخیزی اراضی شالیزاری آمل را با استفاده از توابع عضویت فازی و AHP ارزیابی کردند (24). آنان نشان دادند رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار کربن آلی از مؤثرترین ویژگی‌های حاصلخیزی خاک مؤثر بر تولید برنج در منطقه مورد مطالعه بوده است. دنگیز و همکاران (2015) نشان دادند بیش‌ترین وزن به‌دست آمده با استفاده از روش FAHP در تعیین تناسب اراضی برای کشت برنج مربوط به مقدار رس و کربن آلی خاک بود (25). کیخا و همکاران (2021) با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، مناطق مناسب برای انجام عملیات بوته‌کاری در استان گلستان را مشخص کردند (26). در این پژوهش از معیارهای پوشش گیاهی، خاک‌شناسی، فیزیوگرافی و اقلیم استفاده شد. نتایج آنان نشان داد معیارهای اقلیم و خاک‌شناسی به‌ترتیب با وزن‌های 0/529 و 0/254 و زیرمعیارهای میانگین بارندگی سالیانه، قابلیت هدایت الکتریکی و درصد تاج پوشش به‌ترتیب با وزن‌های 0/313، 0/145 و 0/121 بیش‌ترین تأثیر را در انتخاب مکان

پژوهش حاضر با هدف تعیین درجه تأثیرگذاری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های شور و سدیمی در راستای مدیریت بهتر این خاک‌ها، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری، آماده سازی و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: نمونه‌های خاک لایه‌های سطحی (40 نمونه از عمق 0 تا 20 سانتی‌متر) و زیرسطحی (40 نمونه از عمق 20 تا 40 سانتی‌متر) شامل مجموعه‌ای از خاک‌های شور، سدیمی، شور-سدیمی و نرمال واقع در 21 کیلومتری جنوب غربی شهرستان سروستان استان فارس، به فواصل منظم برداشت شدند. نمونه‌های خاک، پس از هواخشک و مخلوط شدن، از الک 2 میلی‌متری عبور داده شده و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با روش‌های استاندارد معمول (28 و 29) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند و مقادیر در بخش نتایج نشان داده شده است.

مراحل تحلیل سلسله‌مراتب فازی: به‌منظور اولویت‌بندی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از روش تحلیل سلسله‌مراتب فازی استفاده شد. ساختار این فرآیند در شکل 1 نشان داده شده است که تعیین تأثیرگذارترین ویژگی خاک را در سه سطح نشان می‌دهد. سطح اول هدف مسأله است. سطح دوم شامل دو طبقه، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک لایه‌های سطحی و زیرسطحی می‌باشند و درنهایت، زیرمعیارها که نام ویژگی‌های خاک مورد مطالعه می‌باشند، مشخص شده‌اند. پرسشنامه‌های آماده شده‌ای تهیه و بر اساس تجربه و نتایج پژوهش‌های کارشناسان تکمیل و مقایسات زوجی انجام شدند. ابتدا مقایسات میان معیارهای اصلی در رسیدن به هدف، و مقایسه زیرمعیارهای هر معیار انجام شد. سپس با وزن‌دهی به

مناسب عملیات بوته‌کاری نشان دادند. وحیدی (2020) در پژوهشی به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی برای کشت زرشک و عناب در حوزه آبخیز القورات بیرجند با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد بیش‌ترین اوزان به‌دست آمده برای زیرمعیارهای درجه حرارت، شیب و شوری و قلیائیت بودند (27).

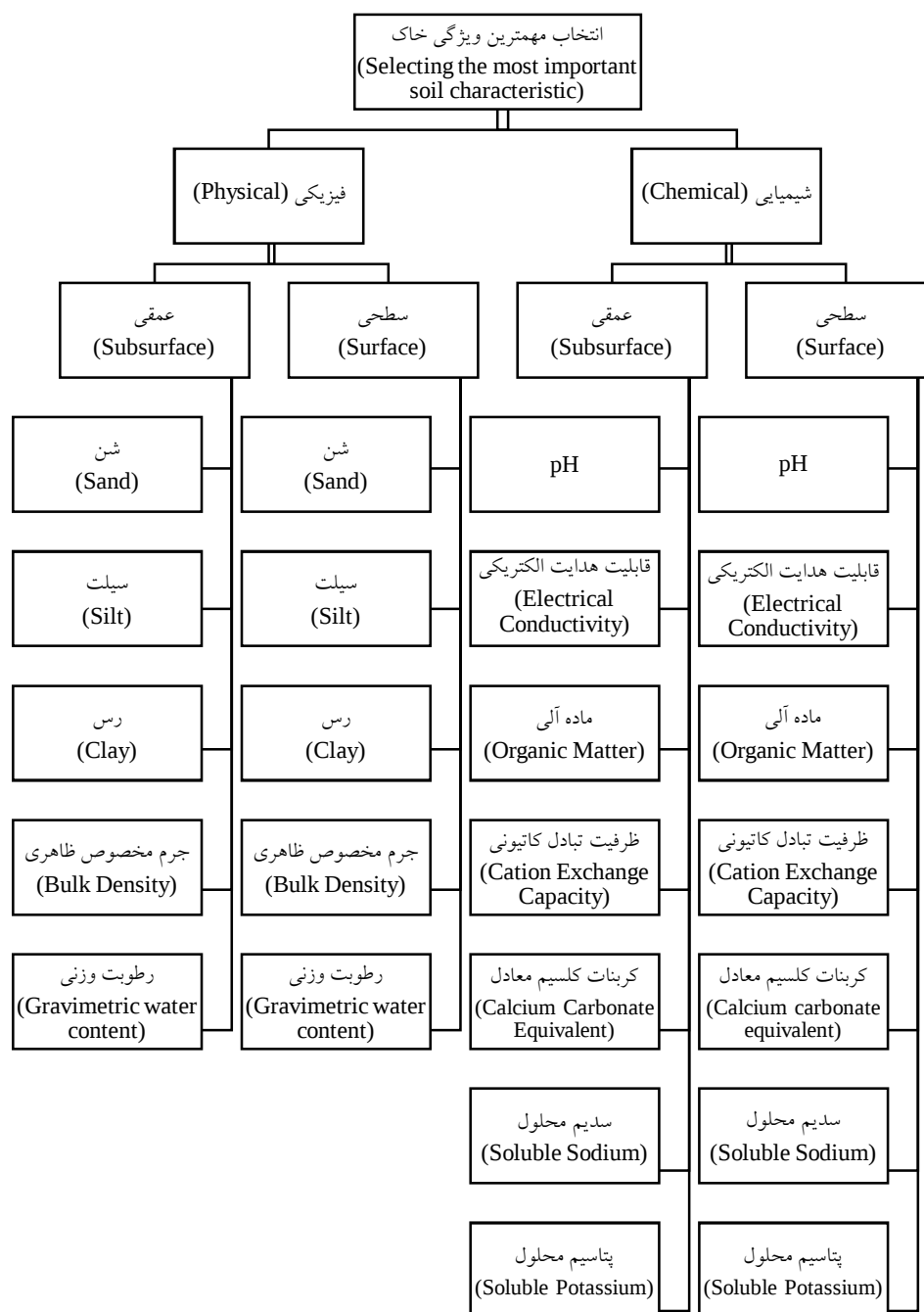
در پژوهشی توسط زاهدی‌فر (2023) تأثیر 16 ویژگی خاک بر مدیریت کاربری اراضی در کاربری‌های مرتع، جنگل و کشاورزی، به‌روش مقایسات زوجی، وزن‌دهی و محاسبه میزان تأثیرگذاری به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و فازی تاپسیس انجام شد (12). نتایج این پژوهش نشان داد در میان ویژگی‌های خاک، بیش‌ترین وزن در اراضی کشاورزی به‌ترتیب برای ویژگی‌های شیمیایی، تغذیه‌ای و فیزیکی به دست آمد. در حالی‌که در مرتع و جنگل، بیش‌ترین وزن و در نتیجه اهمیت، مربوط به ویژگی‌های فیزیکی بود. بیش‌ترین اهمیت و اولویت به‌ترتیب برای جرم مخصوص ظاهری، پهاش و نیتروژن به‌دست آمد. این نتایج نشان داد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای شناسایی عامل مهم و تأثیرگذار بر مدیریت تناسب اراضی، مناسب است. هم‌چنین کارآیی زیست‌محیطی ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف اراضی بر اساس مدل تحلیل سلسله‌مراتب فازی، به‌منظور راهنمایی فرد تصمیم‌گیرنده در مدیریت کاربری‌ها بسیار مهم است. شاخص‌های مهم موثر بر کیفیت خاک، فرسایش و یا تخریب آن تحت تأثیر نوع کاربری اراضی قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توان گفت شناسایی ویژگی‌های مهم خاک به همراه کنترل و مدیریت آن‌ها می‌تواند مقدار و سرعت تخریب خاک را محدود کند.

با توجه به وسعت خاک‌های شور و سدیمی در کشور و نیاز به مدیریت مناسب آن‌ها، اولویت‌بندی و یافتن ویژگی‌های خاک با اهمیت بیش‌تر به‌ویژه در لایه‌های سطحی، بسیار ضروری است. بنابراین

بر اساس یافته‌های ارتوقرول و کاراکاسوقلو (2008)، اعداد فازی مثلثی با سه عدد واقعی تعریف می‌شوند (30) که می‌توان آن‌ها را با $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ نشان داد. 'l_{ij}' و 'u_{ij}' به ترتیب نشان‌دهنده حداقل و حداکثر ممکن و 'm_{ij}' محتمل‌ترین مقدار ممکن یک عدد فازی است (جدول 1) (31).

معیارها و زیرمعیارها و مقایسه آن‌ها، اهمیت ویژگی‌ها مشخص شد.

عدد فازی مثلثی و اولویت‌بندی: اعداد فازی، به عنوان یک زیرکلاس فازی از اعداد واقعی، می‌توانند محدوده فاصله اطمینان را نمایش دهند. انتخاب اعداد فازی مختلف به ماهیت و هدف پژوهش بستگی دارد.



شکل 1- تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی.

Figure 1. Forming a hierarchical structure.

جدول 1- اعداد فازی برای انجام مقایسه بین دو ویژگی بر اساس متغیرهای زبانی.

Table 1. Fuzzy numbers to perform comparisons between two features based on linguistic variables.

کد (Code)	عبارت کلامی (Linguistic term)	عدد فازی (Triangular fuzzy number)
1̃	اهمیت برابر (Equally Preferred)	(1,1,1)
2̃	اهمیت برابر تا کمی مهم‌تر (Equally to Moderately Preferred)	(1,2,3)
3̃	کمی مهم‌تر (Moderately Preferred)	(2,3,4)
4̃	اهمیت کمی مهم‌تر تا بسیار مهم‌تر (Moderately to Strongly Preferred)	(3,4,5)
5̃	نسبتاً مهم (Strongly Preferred)	(4,5,6)
6̃	اهمیت نسبتاً مهم‌تر تا بسیار مهم (Strongly to Very strongly Preferred)	(5,6,7)
7̃	بسیار مهم (Very Strongly)	(6,7,8)
8̃	اهمیت نسبتاً مهم‌تر تا مطلقاً مهم (Very Strongly to Extremely Preferred)	(7,8,9)
9̃	مطلقاً مهم (Extremely Preferred)	(8,9,10)

برای تعیین وزن معیارهای ارزیابی توسط FAHP
 مرحله 1: تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی بین همه معیارها در ابعاد سیستم سلسله‌مراتبی، سپس تعیین معیار مهم‌تر مانند ماتریس زیر:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \frac{1}{\tilde{a}_{21}} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\tilde{a}_{n1}} & \frac{1}{\tilde{a}_{n2}} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} & \text{"i" نسبتاً مهمتر از "j"} \\ 1 & \text{"i" = "j"} \\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & \text{"i" نسبتاً با اهمیت کمتر از "j"} \end{cases} \quad (2)$$

مرحله 2: دو ماتریس شامل ماتریس مقادیر میانی و ماتریس میانگین هندسی مقادیر بالا و پایین اعداد مثلثی تعریف می‌شوند (32). پس از آن، وزن‌ها از طریق روابط 3 و 4 محاسبه می‌شوند (8).

$$w_m = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n m_{1j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}} \quad (3)$$

$$w_g = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt{l_{1j} \times u_{1j}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{l_{ij} \times u_{ij}}} \quad (4)$$

که در آن، w_m و w_g به ترتیب وزن‌های محاسبه شده توسط ماتریس‌های میانی و هندسی اعداد مثلثی هستند. سپس ضرب ماتریس (MMULT) با استفاده از رابطه 5 تعیین می‌شود:

$$MMULT = \sum (A_{ij}) \times w_{ij} \quad (5)$$

مرحله 3: محاسبه مقادیر بردار ویژه λ (eigenvalue) که در آن، A_{ij} مؤلفه‌های ماتریس زوجی و w_{ij} وزن فازی است. برای هر ماتریس، بزرگ‌ترین مقدار بردار ویژه λ_{max} شاخص سازگاری¹ (CI) و نسبت سازگاری² (CR) با استفاده از روابط 6 تا 8، (33):

$$\lambda_{max}^m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ijm} \left(\frac{w_j^m}{w_i^m} \right) \times \lambda_{max}^g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{a_{iju} \times a_{ijl}} \left(\frac{w_j^g}{w_i^g} \right) \quad (6)$$

$$CI^m = \frac{(\lambda_{max}^m - n)}{(n-1)} \text{ و } CI^g = \frac{(\lambda_{max}^g - n)}{(n-1)} \quad (7)$$

$$CR^m = \frac{CI^m}{RI^m} \text{ و } CR^g = \frac{CI^g}{RI^g} \quad (8)$$

آن RI^m شاخص‌های تصادفی با توجه به ماتریس میانی و RI^g شاخص‌های تصادفی بر اساس ماتریس میانگین هندسی می‌باشند (34). که در آن، شاخص‌های تصادفی (RI) با استفاده از روش ساعتی (1980) از طریق جدول 2 به دست می‌آیند و بسته به مرتبه ماتریس متفاوت است و در

جدول 2- شاخص‌های تصادفی (RI) بر اساس اندازه ماتریس.

Table 2. Random indices (RI) based on matrix size.

RI^g	RI^m	n	RI^g	RI^m	n*
0.4348	1.3793	9	0	0	1
0.4455	1.4095	10	0	0	2
0.4536	1.4181	11	0.1796	0.4890	3
0.4776	1.4462	12	0.2627	0.7937	4
0.4691	1.4555	13	0.3597	1.0720	5
0.4804	1.4913	14	0.3818	1.1996	6
0.4880	1.4986	15	0.4090	1.2874	7
			0.4164	1.3410	8

* n اندازه ماتریس (Size of matrix)، RI^g و RI^m به ترتیب شاخص‌های تصادفی (Random Index) بر اساس ماتریس میانی (Median matrix) و هندسی (Geometric matrix) است

1- Consistency index

2- Consistency ratio

تصمیم‌گیرندگان در تعیین اولویت‌های مجموعه‌ای از معیارها پشتیبانی می‌کند (36).

مرحله 4: محاسبه میانگین هندسی مقادیر مقایسه فازی ($\tilde{r}_i$) برای تعریف وزن فازی هر معیار با استفاده از روابط 9 و 10، (37):

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n (\tilde{a}_{ij}) \right)^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}, \tilde{w}_i = l\tilde{w}_i.m\tilde{w}_i.u\tilde{w}_i \quad (10)$$

نرمال‌سازی بردار وزن $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ و محاسبه بردار برای هر معیار، با استفاده از رابطه 11 انجام می‌شود:

$$w_i^* = w_i \left(\sum_{i=1}^n w_i \right)^{-1} \quad (11)$$

مدل، درصد تأثیر هر معیار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\%Influence = 100 \times \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (12)$$

شیمیایی بودن ویژگی‌های لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک و در سطح سوم، زیرمعیارها، انواعی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده قرار داده شده است (جدول 3).

به عنوان یک اصل مشترک، $CR \leq 0/1$ باید برای سازگاری ماتریس (به‌مفهوم قابل قبول) حفظ شود (35) در مقابل، اگر CR بیش از $0/1$ باشد، قضاوت‌های درون آن ماتریس دارای ناسازگاری هستند، بنابراین، فرآیند تخمین باید دوباره ارزیابی و اصلاح شود. بر اساس نظر هک و کنان (2006)، یک ویژگی سازگاری مرسوم از تأیید قابلیت اطمینان

که در آن، $\tilde{w}_i$ وزن فازی معیار i ام است. $l\tilde{w}_i$ ، $m\tilde{w}_i$ و $u\tilde{w}_i$ به ترتیب مقادیر پایین‌تر، میانی و بالاتر وزن فازی معیار i ام هستند. علائم $\otimes$ و $\oplus$ به ترتیب نشان‌دهنده عملیات ضرب و جمع فازی هستند.

مرحله 5: انتخاب تصمیم با ضرب وزن معیارها و زیرمعیارها. برای ارزیابی تأثیر هر معیار بر نتایج نهایی

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری EXCEL نسخه 2016 انجام شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه سطح اول، هدف، انتخاب مهم‌ترین ویژگی، سطح دوم، معیارها، فیزیکی و

جدول 3- دامنه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های منطقه مورد مطالعه.

Table 3. The range of changes in the surface and subsurface physical and chemical characteristics of the soils of the study area.

زیرسطحی (2) (Sub surface)			سطحی (1) (Surface)			واحد (Unit)	ویژگی خاک (Soil characteristics)
میانگین (Mean)	حداکثر (Max)	حداقل (Min)	میانگین (Mean)	حداکثر (Max)	حداقل (Min)		
7.95	8.96	7.54	7.95	8.70	7.21	-	pH
9.76	79.7	0.57	2.98	12.57	0.70	dS m ⁻¹	EC (قابلیت هدایت الکتریکی)
1.44	2.92	0.06	1.40	3.40	0.13	%	OM (ماده آلی)
2.43	38.71	5.89	22.65	37.86	9.29	Cmol. kg ⁻¹	CEC (ظرفیت تبادل کاتیونی)
2.91	46.5	1.56	28.15	45	1.90	%	CCE (کربنات کلسیم معادل)
2162	33676	1.78	270	2316	1.33	mg L ⁻¹	Na (سدیم محلول)
6.25	372	9.83	38.14	193	0	mg L ⁻¹	K (پتاسیم محلول)
2.04	48.61	1.48	16.64	31.92	1.37	%	ESP (درصد سدیم تبادلی)
4.72	78.4	1.4	41.37	74.40	1.40	%	Sand (شن)
3.54	64	8	43.03	64	16	%	Silt (سیلت)
1.09	55.6	7.6	15.67	27.60	4.80	%	Clay (رس)
0.97	1.8	0.7	1	1.28	0.91	g cm ⁻³	BD (جرم مخصوص ظاهری)
2.36	37.5	2.4	12.42	27.59	4.30	%	Θ _m (رطوبت وزنی)

شن (Sand)، سیلت (Silt)، رس (Clay)، جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density, BD)، رطوبت وزنی Θ_m (Water content)، EC (Electrical Conductivity)، قابلیت هدایت الکتریکی، OM (Organic Matter): ماده آلی، CEC (Cation Exchange Capacity): ظرفیت تبادل کاتیونی، CCE (Calcium Carbonate Equivalent): کربنات کلسیم معادل، Na (Soluble sodium): سدیم محلول و K (Soluble potassium): پتاسیم محلول

سدیم ایجاد می‌کند، مانند تخریب ساختمان خاک و کاهش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به سبب افزایش pH خاک‌های با سدیم زیاد، ندارد. ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک توانایی خاک در نگهداری کاتیون‌ها بر سطح ذرات خاک است که نقش مهم انبار عناصر غذایی را ایفا می‌کند بنابراین بر اساس نظر کارشناسان اهمیت آن نسبت به آهک و پتاسیم محلول خاک بیش‌تر در نظر گرفته شده است. ماده آلی نسبت به آهک و پتاسیم محلول خاک نقش بسیار مهم‌تری را به

جدول‌های 4 تا 8، ماتریس مقایسات زوجی هدف، معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهند. در جدول ویژگی‌های شیمیایی (جدول‌های 6 و 8)، عامل شوری در مقایسه با سدیم، دارای اهمیت یکسان، شوری نسبت به آهک دارای وضعیت بسیار مهم و شوری نسبت به پتاسیم در وضعیت اهمیت نسبتاً بیش‌تر تا بسیار مهم دسته‌بندی شده است. دلیل اهمیت کم‌تر پتاسیم نسبت به شوری و یا سدیم خاک، این است که پتاسیم در خاک مشکلات زیادی را که

و بر ذخایر غذایی خاک مؤثر باشند و نه مانند رس خاصیت چسبندگی و ساختمان‌سازی دارند. اهمیت رس و چگالی ظاهری و رطوبت به یک میزان تعریف شده است.

همان‌طور که اشاره شد، یک اصل مشترک در تحلیل‌های سلسله‌مراتبی، سازگار بودن ماتریس است، به این صورت که نرخ ناسازگاری محاسبه شده به روش ماتریس میانه و هندسی باید از 0/1 کم‌تر باشد تا ماتریس تهیه شده، قابل قبول باشد. همان‌گونه که در جدول‌های 4 تا 8 نشان داده شده است، کم‌ترین و بیش‌ترین نرخ ناسازگاری محاسبه شده به دو روش ماتریس میانه و هندسی، به ترتیب برابر 0/013 و 0/099 بوده است. بنابراین مقایسه‌های انجام شده در این پژوهش از سازگاری قابل قبولی برخوردار هستند.

خود اختصاص داده زیرا بر pH خاک، قابلیت دسترسی عناصر غذایی، رشد ریشه و فعالیت ریزجانداران مؤثر است. مقایسات زوجی ویژگی‌های فیزیکی خاک (جدول‌های 5 و 7) نشان می‌دهد بر اساس نظر کارشناسان، چگالی ظاهری با توجه به ارتباط آن با تخلخل و ساختمان خاک و در نتیجه اثر آن بر حرکت آب و هوا در خاک، رشد ریشه و فعالیت ریزجانداران خاکزی، نسبت به درصد شن و یا سیلت از درجه اهمیت بیش‌تری برخوردار است. از آنجایی که رس می‌تواند در خاک نقش هم‌اورکننده و چسباننده داشته باشد و با قرار گرفتن در میان ذرات شن و سیلت، به تشکیل ساختمان کمک کند، نسبت به آن‌ها از درجه اهمیت کمی مهم‌تر برخوردار است. در حالی که ذرات شن نه مانند رس، در سطح خود دارای بار الکتریکی هستند تا بتوانند عناصر غذایی را جذب سطحی نموده

جدول 4- ماتریس مقایسات فازی هدف، معیار و زیرمعیار.

Table 4. Fuzzy comparison matrix of goal, criterion, and sub-criterion.

C2	P2	C1	P1	Goal (هدف)
(1,2,3)	(5,6,7)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	*P1
(3,4,5)	(6,7,8)	(1,1,1)	(1,2,3)	C1
(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(0.12,0.14,0.16)	(0.14,0.16,0.2)	P2
(1,1,1)	(1,2,3)	(0.2,0.25,0.33)	(0.33,0.5,1)	C2

نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانه (Inconsistency rate by median matrix method) = 0.013

نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانگین هندسی (Incompatibility rate by geometric matrix method) = 0.074

* P1: ویژگی فیزیکی سطحی (Surface physical properties)، C1: ویژگی شیمیایی سطحی (Surface chemical properties)، P2: ویژگی فیزیکی عمقی (Subsurface physical properties) و C2: ویژگی شیمیایی عمقی (Subsurface chemical properties)

جدول 5- ماتریس مقایسات فازی زیرمعیارهای مربوط به معیار ویژگی‌های فیزیکی لایه سطحی خاک.

Table 5. The matrix of fuzzy comparisons of the sub-criteria related to the criterion of soil surface physical characteristics.

رطوبت (Θ_m)	چگالی ظاهری (Bulk Density)	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	زیرمعیار (Sub criteria, P1)
Water content					شن (Sand)
(0.2,0.25,0.33)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	
					سیلت (Silt)
(0.33,0.5,1)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(1,2,3)	
					رس (Clay)
(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	
					چگالی ظاهری (Bulk Density)
(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	
					رطوبت وزنی (Water content)
(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	

0.039 = (Inconsistency rate by median matrix method) نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانه

0.079 = (Incompatibility rate by geometric matrix method) نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانگین هندسی

جدول 6- ماتریس مقایسات فازی زیرمعیارهای مربوط به معیار ویژگی‌های شیمیایی لایه سطحی خاک.

Table 6. The matrix of fuzzy comparisons of sub-criteria related to the criterion of surface chemical properties of soil.

پتاسیم (Potassium)	سدیم (Sodium)	آهک (Calcium Carbonate Equivalent)	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)	ماده آلی (Organic Matter)	شوری (Electrical Conductivity)	pH	زیرمعیار (Sub criteria, C1)
							pH
(2,3,4)	(0.25,0.33,0.5)	(1,2,3)	(0.2,0.25,0.33)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	
							شوری (Electrical Conductivity)
(5,6,7)	(1,2,3)	(6,7,8)	(1,2,3)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	
							ماده آلی (Organic Matter)
(6,7,8)	(4,5,6)	(6,7,8)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	
							ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)
(4,5,6)	(1,2,3)	(4,5,6)	(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(3,4,5)	
							آهک (Calcium Carbonate Equivalent)
(1,1,1)	(0.2,0.25,0.33)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.12,0.14,0.16)	(0.12,0.14,0.16)	(0.33,0.5,1)	
							سدیم (Sodium)
(3,4,5)	(1,1,1)	(3,4,5)	(0.33,0.5,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.33,0.5,1)	(2,3,4)	
							پتاسیم (Potassium)
(1,1,1)	(0.2,0.25,0.33)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.12,0.14,0.16)	(0.14,0.16,0.2)	(0.25,0.33,0.5)	

0.034 = (Inconsistency rate by median matrix method) نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانه

0.095 = (Incompatibility rate by geometric matrix method) نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانگین هندسی

جدول 7- ماتریس مقایسات فازی زیرمعیارهای معیار ویژگی‌های فیزیکی لایه زیرسطحی خاک.

Table 7. Matrix of fuzzy comparisons of the sub-criteria of soil subsurface physical characteristics.

رطوبت (Θ_m) (Water content)	چگالی ظاهری (Bulk Density)	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	زیرمعیار (Sub criteria, P2)
(0.2,0.25,0.33)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	شن (Sand)
(0.33,0.5,1)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(1,2,3)	سیلت (Silt)
(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	رس (Clay)
(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	چگالی ظاهری (Bulk Density)
(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	رطوبت وزنی (Water content)

نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانه (Inconsistency rate by median matrix method) = 0.044

نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانگین هندسی (Incompatibility rate by geometric matrix method) = 0.099

جدول 8- ماتریس مقایسات فازی زیرمعیارهای معیار ویژگی‌های شیمیایی لایه زیرسطحی خاک.

Table 8. Matrix of fuzzy comparisons of the sub-criteria of the subsurface chemical characteristics of the soil.

پتاسیم (Potassium)	سدیم (Sodium)	آهک (Calcium Carbonate Equivalent)	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)	ماده آلی (Organic Matter)	شوری (Electrical Conductivity)	pH	زیرمعیار (Sub criteria, C1)
(2,3,4)	(0.25,0.33,0.5)	(1,2,3)	(0.2,0.25,0.33)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	pH
(5,6,7)	(1,2,3)	(6,7,8)	(1,2,3)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	شوری (Electrical Conductivity)
(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	ماده آلی (Organic Matter)
(4,5,6)	(1,2,3)	(4,5,6)	(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(3,4,5)	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)
(1,1,1)	(0.2,0.25,0.33)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.12,0.14,0.16)	(0.12,0.14,0.16)	(0.33,0.5,1)	آهک (Calcium Carbonate Equivalent)
(3,4,5)	(1,1,1)	(3,4,5)	(0.33,0.5,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.33,0.5,1)	(2,3,4)	سدیم (Sodium)
(1,1,1)	(0.2,0.25,0.33)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.12,0.14,0.16)	(0.14,0.16,0.2)	(0.25,0.33,0.5)	پتاسیم (Potassium)

نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانه (Inconsistency rate by median matrix method) = 0.083

نرخ ناسازگاری به روش ماتریس میانگین هندسی (Incompatibility rate by geometric matrix method) = 0.09

می‌دهد در میان ویژگی‌های شیمیایی، ویژگی‌های لایه سطحی با وزن بیشتر، در اولویت و اهمیت بیشتری قرار دارند.

وزن نهایی محاسبه شده برای ویژگی‌های شیمیایی لایه سطحی برابر 0/569 بوده در حالی که این وزن برای ویژگی‌های شیمیایی لایه زیرسطحی برابر با 0/154 گزارش شده است.

جدول 9 مقادیر اوزان نرمال و نهایی معیارها و زیرمعیارهای ویژگی‌های شیمیایی خاک در دو موقعیت لایه‌های سطحی و زیرسطحی را نشان می‌دهد. برای محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها از حاصل ضرب وزن نرمال زیرمعیار در وزن نرمال معیار استفاده شده است. در نهایت وزن نهایی هر معیار از حاصل جمع وزن‌های نهایی زیرمعیارها به دست آمده است. مقایسه وزن نرمال و نهایی معیارها نشان

جدول 9- مقادیر وزن‌های نرمال و نهایی معیار و زیرمعیارهای ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های سطحی (C1) و زیرسطحی (C2).

Table 9. Values of normal and final weights of criteria and sub-criteria of chemical characteristics of surface and subsurface soils.

C2=0.155												C1 *=0.572												معیار (Criteria)	

هم‌چنین بیش‌ترین وزن نهایی محاسبه شده در میان زیرمعیارهای معیار شیمیایی خاک لایه زیرسطحی، مربوط به قابلیت هدایت الکتریکی خاک (0/037) و کم‌ترین برای پتاسیم محلول خاک (0/011) بوده است.

مقادیر اوزان نرمال و نهایی معیار و زیرمعیارهای ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های مورد مطالعه در جدول 10 نشان داده شده است. نتایج نشان داد در میان معیارهای فیزیکی، معیار خاک‌های لایه سطحی دارای وزن نهایی بیش‌تری (0/222) در مقایسه با خاک‌های لایه زیرسطحی (0/046) بوده و این نشان‌دهنده اهمیت بیش‌تر آن است.

مقایسه وزن نهایی زیرمعیارها در معیار ویژگی شیمیایی لایه سطحی نشان می‌دهد بیش‌ترین وزن برای ویژگی ماده آلی (0/188) و کم‌ترین وزن برای پتاسیم محلول خاک (0/018) گزارش شده است. بنابراین اهمیت مقدار ماده آلی خاک در میان سایر ویژگی‌های شیمیایی لایه سطحی بیش‌ترین است. سرمیدیان و کشاورزی (2013) نشان دادند کربن آلی خاک با وزن 0/289 بیش‌ترین تأثیر و سهم را در میزان حاصلخیزی خاک منطقه تحت کشت گندم در قزوین داشته است (38). مقدار ماده آلی به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، اثر قابل‌توجهی بر عملکرد محصول و کیفیت خاک دارد. نقش ماده آلی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (39) و اثر مستقیم آن بر فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر توسط سایرین گزارش شده است (40).

جدول 10- مقادیر وزن نرمال و وزن نهایی معیار و زیرمعیارهای ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های لایه‌های سطحی (P1) و زیرسطحی (P2).

Table 10. Values of normal weight and final weight of criteria and sub-criteria of physical characteristics of surface and subsurface soils.

P2 = 0.048					P1 * = 0.223					معیار (Criteria)
Θ_m رطوبت	BD جرم مخصوص	Clay رس	Silt سیلت	Sand شن	Θ_m رطوبت	BD جرم مخصوص	Clay رس	Silt سیلت	Sand شن	زیرمعیار (Sub criteria)
0.120	0.303	0.206	0.043	0.326	0.230	0.306	0.291	0.112	0.059	وزن نرمال (Normal weight)
0.014	0.005	0.010	0.002	0.015	0.068	0.051	0.065	0.025	0.013	وزن نهایی (Final weight)
0.046					0.222					امتیاز نهایی (Final score)

* P1 ویژگی فیزیکی سطحی (Surface physical property) و P2 ویژگی فیزیکی زیرسطحی (Subsurface physical property).
شن (Sand)، سیلت (Silt)، رس (Clay)، جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density, BD)، رطوبت وزنی (Θ_m (Water content))

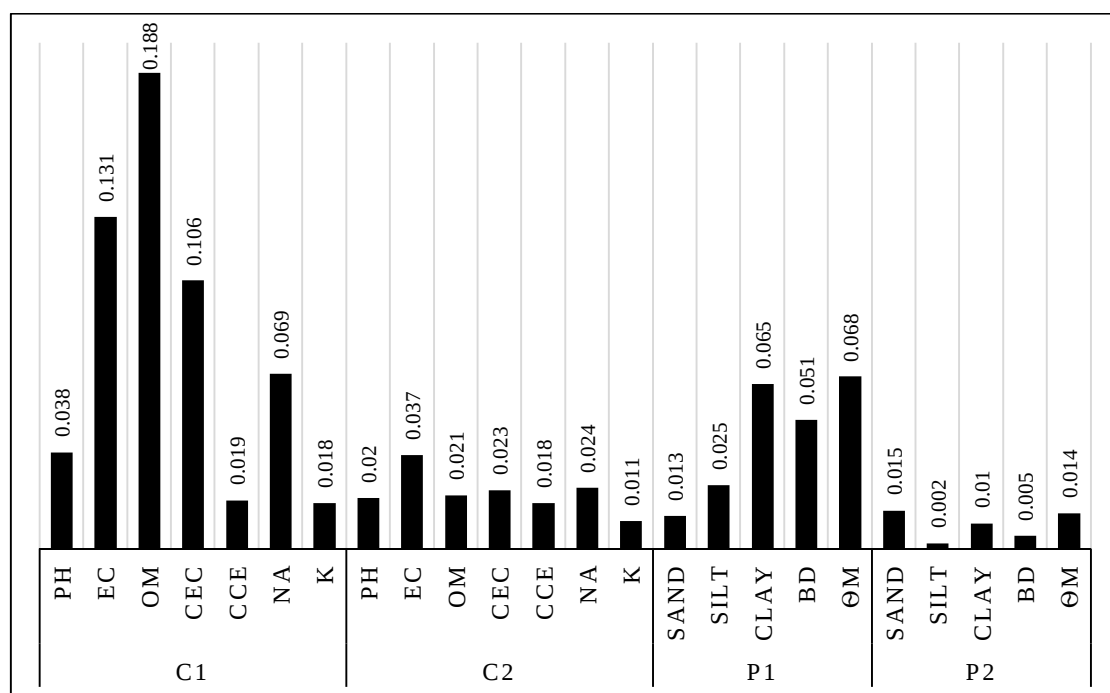
شن و درصد سیلت به‌ترتیب با وزن‌های 0/015 و 0/002 بیش‌ترین و کم‌ترین وزن و در نتیجه اهمیت را در میان زیرمعیارهای معیار فیزیکی در لایه زیرسطحی خاک نشان دادند (جدول 10). در پژوهشی توسط

هم‌چنین در میان اوزان نهایی محاسبه‌شده برای زیرمعیارهای معیار فیزیکی در سطح خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن به ترتیب برای درصد رطوبت وزنی (0/065) و درصد شن (0/013) به دست آمد. درصد

موسوی و همکاران (2017) به منظور ارزیابی تناسب اراضی برای کشت دیم، اولویت‌بندی 9 ویژگی اقلیم و اراضی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی مورد بررسی قرار گرفت (41). نتایج آنان نشان داد بیش‌ترین وزن برای شیب زمین (0/324) و بافت خاک (0/22) به‌دست آمد. پناه‌زاد و همکاران (2022) تأثیر عوامل مؤثر بر ارزیابی تناسب اکولوژیک برای کاربری زراعت آبی را در قالب تحلیل سلسله‌مراتبی مورد بررسی قرار دادند (42). این عوامل شامل معیارهای شکل زمین (زیرمعیارهای شیب، جهت و ارتفاع)، خاک (زیرمعیارهای بافت، حاصلخیزی، اسیدیته، عمق، زهکشی، فرسایش، شوری، درصد آهک و کربن آلی)، اقلیم (زیرمعیارهای دما، بارندگی و رطوبت نسبی) و منابع آب (زیرمعیار دبی آب) بودند. نتایج آنان نشان داد زیرمعیار دبی آب، بیش‌ترین وزن (0/29) را داشت و پس از آن دما (0/106)، بافت خاک (0/103) و حاصلخیزی (0/092) قرار داشتند.

تشیع و همکاران (2020) نیز نشان دادند بافت خاک مهم‌ترین عامل مؤثر بر تناسب اراضی گندم‌زار خواهد بود (43). از آنجایی‌که عوامل اکولوژیکی مختلف، اثرات یکسان و برابر بر مدیریت و تناسب محیط زیست ندارند. بنابراین بسیاری از پژوهش‌گران، استفاده از برنامه‌های چندمنظوره مانند تحلیل سلسله‌مراتب فازی در شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت اراضی را توصیه می‌کنند. علاوه بر این، ارزیابی کارایی زیست‌محیطی به‌ویژه در ارتباط با ویژگی‌های مهم خاک در اراضی مرتعی، کشاورزی و جنگلی برای دستیابی به مدیریت مناسب کاربری اراضی به کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، بسیار اهمیت دارد.

شکل 2 مقایسه کلی معیارها و زیرمعیارها را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. در بین تمام معیارهای مورد مطالعه، C1 رتبه اول اهمیت، P1 رتبه دوم، C2 رتبه سوم و P2 در رتبه چهارم اولویت و اهمیت قرار گرفتند. اهمیت نسبی و درصد تأثیرگذاری هر یک از زیرمعیارها نیز در شکل 2 نشان داده شده است. در میان تمام زیرمعیارها، بیش‌ترین اهمیت و درصد تأثیرگذاری (18/97 درصد) مربوط به ماده آلی خاک و کم‌ترین درصد (0/2 درصد) برای سیلت به‌دست آمد. نتایج کلی نشان داد بر اساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، به منظور مدیریت بهتر اراضی شور و سدیمی مورد مطالعه، اولویت با ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌ویژه درصد ماده آلی است. نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. مدیریت خاک‌های شور و سدیمی در مقایسه با استفاده از افزودنی‌های معدنی، روشی ارزان‌قیمت و مناسب شناخته شده است (44). ماده آلی سبب کاهش یا افزایش برخی ویژگی‌های خاک شده (45 و 46) و از این طریق می‌تواند در بهبود وضعیت شیمیایی، فیزیکی و حاصلخیزی خاک‌های شور و سدیمی مؤثر باشد. ترکیبات آلی با آزاد کردن عامل اسیدی H^+ از گروه‌های عاملی خود و یا افزایش فشار جزئی کربن‌دی‌اکسید، به دنبال افزایش فعالیت میکروبی و تولید اسیدهای آلی، pH خاک را کاهش می‌دهند (47 و 48) و سبب افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، افزایش ریزجاندانان خاکری، رشد بهتر گیاه مقاوم و متحمل به شرایط شوری و سدیمی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جذب کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم نسبت به سدیم و کاهش درصد سدیم تبادلی خاک می‌شوند (49 و 50).

[illegible]

* C1 ویژگی شیمیایی سطحی (Surface chemical property)، C2 ویژگی شیمیایی زیرسطحی (Subsurface chemical property)، P1 ویژگی فیزیکی سطحی (Surface physical property)، P2 ویژگی فیزیکی زیرسطحی (Subsurface physical property)، شن (Sand)، سیلت (Silt)، رس (Clay)، جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density, BD)، رطوبت وزنی Θ_m (Water content)، EC (Electrical Conductivity): قابلیت هدایت الکتریکی، OM (Organic Matter): ماده آلی، CEC (Cation Exchange Capacity): ظرفیت تبادل کاتیونی، CCE (Calcium Carbonate Equivalent): کربنات کلسیم معادل، Na (Soluble sodium): سدیم محلول و K (Soluble potassium): پتاسیم محلول

شکل 2- اوزان و رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارها نسبت به یکدیگر و درصد تأثیرگذاری زیرمعیارها.

Figure 2. Weights and ranking of criteria and sub-criteria relative to each other and the percentage of influence of sub-criteria.

نتیجه‌گیری کلی

شور و سدیمی شدن خاک‌ها یکی از جدی‌ترین نگرانی‌های اراضی کشاورزی از زمان‌های قدیم تاکنون در سراسر جهان محسوب می‌شود و خشکسالی‌های اخیر نیز این مشکل را تشدید نموده است. با توجه به نامناسب بودن برخی ویژگی‌های این خاک‌ها به‌ویژه خاک‌های سدیمی با pH زیاد و ساختمان فیزیکی نامطلوب، مدیریت و اصلاح این خاک‌ها بسیار بااهمیت است. بررسی این ویژگی‌ها و اولویت‌بندی کردن آن‌ها در راستای مدیریت بهتر این خاک‌ها هدف این پژوهش بود. با توجه به تعداد زیاد ویژگی‌های اثرگذار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. این روش از کامل‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا امکان تقسیم‌بندی مسأله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم کرده و به‌دلیل استوار بودن بر مبنای مقایسه زوجی، سبب سهولت و دقت در انجام محاسبات شده، و تأثیر معیارهای کمی و کیفی مختلف را در موضوع پژوهش بررسی می‌کند. به‌عبارتی گزینه‌های مختلف و زیادی را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت را بر معیارها و زیرمعیارها دارد. علاوه بر موارد بیان شده، نتایج به‌دست آمده از تحلیل چندمعیاره فازی، به واقعیت نیز نزدیک است. در این پژوهش، به‌منظور اولویت‌بندی ویژگی‌های مختلف خاک‌های لایه‌های سطحی و زیرسطحی شور و سدیمی، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. نتایج نشان داد در میان ویژگی‌های خاک،

معیارهای شیمیایی خاک‌های لایه سطحی بیش‌ترین اهمیت (با وزن 0/569) را داشتند. هم‌چنین ماده آلی خاک در بین سایر زیرمعیارهای مورد مطالعه، دارای بیش‌ترین تأثیرگذاری (18/97 درصد) بود. بنابراین با درنظر گرفتن تغییرات ویژگی‌های خاک در موقعیت‌های مختلف زیرسطحی خاک و تعیین میزان اهمیت آن‌ها با روش فازی، می‌توان با افزایش درصد ماده آلی خاک، مدیریت بهتر و کارآمدتری در خاک‌های شور و سدیمی مورد مطالعه داشت. پیشنهاد می‌شود با استفاده از این روش، سایر ویژگی‌های خاک به‌ویژه ویژگی‌های زیستی خاک نیز اولویت‌بندی شود تا بتوان نقش تغییرات آن‌ها را نیز در مدیریت مناسب زمین، مورد توجه و استفاده قرار داد. با توجه به عمق خاک مورد نیاز برای توسعه ریشه گیاهان زراعی منطقه مورد مطالعه و اطراف، در این پژوهش تنها اطلاعات مربوط به دو لایه سطحی (0 تا 20 سانتی‌متر) و زیرسطحی (20 تا 40 سانتی‌متر) اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شدند. ولی به‌دلیل این‌که ویژگی‌های مختلف لایه‌های عمقی‌تر خاک نیز می‌توانند از طریق تأثیر بر فرایندهای نفوذ آب به خاک، زهکشی و تبخیر در افزایش یا کاهش شور و سدیمی شدن خاک و تبعات حاصل از آن مؤثر باشند بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، ویژگی‌ها و اطلاعات لایه‌های عمقی‌تر خاک نیز در تجزیه و تحلیل‌ها استفاده شوند.

منابع

1. Bouman, B. A., Barker, R., Humphreys, E., Tuong, T. P., Atlin, G., Bennett, J., & Fujimoto, N. (2007). *Rice: feeding the billions* (No. 612-2016-40554)
2. Trong Duc, T. (2006). Using GIS and AHP Technique for Land-use Suitability Analysis. *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, pp. 6.
3. Gass, S., & Rapcsák, T. (2004). Singular value decomposition in AHP. *European*

- Journal of Operational Research*. 154 (3), 573-584. doi: 10.1016/S0377-2217(02)00755-5.
4. Wang, T. C., & Chen, Y. H. (2007). Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection. *International Journal of Management Science*. 35, 384-388. doi: 10.1016/j.omega.2005.07.007.
5. Sepehr, A., Ekhtesasi, M. R., & Almodaresi, S. A. (2011). Development of Desertification Indicator System Base on DPSIR (Take advantages of Fuzzy-TOPSIS). *Geography and Environmental Planning Journal*. 45(1), 9-11. [In Persian]
6. Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 95(3), 649-655. doi: 10.1016/0377-2217(95)00300-2.
7. Haidaraa, I., Tahrib, M., Maananc, M., & Hakdaouia, M. (2019). Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. *Geoderma*. 354, 1-15. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.07.011.
8. Saaty, T. L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
9. Ghodsipour, S. H. (2006). *Introduction of multi criteria decisions and Analysis Hierarchical Process (AHP)*. Amir Kabir University Publications. 220 p. [In Persian]
10. Metternicht, G., & Gonzalez, S. (2004). Modelling land cover changes: Fuzzy thresholding for the separation of change from no-change areas. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 30, 351-362. doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.01.009.
11. Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy sets*. *Information and Control*, 8, 338-353. doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
12. Zahedifar, M. (2023). Feasibility of fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and fuzzy TOPSIS methods to assess the most sensitive soil attributes against land use change. *Environmental Earth Science*. 82, 248. doi: 10.1007/s12665-023-10934-y.
13. Rezaee, L., Moosavi, A. A., Davatgar, N., & Sepaskhah, A. R. (2020). Soil quality indices of paddy soils in Guilan province of northern Iran: Spatial variability and their influential parameters. *Ecological Indicators*. 117, 106566. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106566.
14. Aama Azghadi, A., Khorassani, R., Mokarram, R., & Moezi, A. (2010). Soil fertility evaluation based on soil K, P and organic matter factors for wheat by using fuzzy logic-AHP and GIS techniques. *Journal of Water and Soil*. 24(5), 973-984. doi: 10.22067/jsw.V0i0.6242. [In Persian]
15. Liu, Z., Zhou W., Shen, J., He, P., Lei, Q., & Liang, G. (2014). A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields south China. *Geoderma*. 235, 39-47. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.06.027.
16. Saito, K., Linquist, B., Atlin, G. N., Phanthaboon, K., Shirawa, T., & Horie, T. (2006). Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos. *Field Crops Research*. 96, 216-223. doi: 10.1016/j.fcr.2005.07.003.
17. Zhang, B., Zhang, Y., Chen, D., White, R. E., & Li, Y. (2004). A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*. 123(3-4), 319-331. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.02.015.
18. Fayyaz, H., Yaghmaeian, N., Sabouri, A., & Shirinfekr, A. (2021). Assessing soil fertility index using Fuzzy-AHP and parametric methods for tea cultivation with different productivities. *Agricultural Engineering*. 44(3), 275-294. doi: 10.22055/agen.2021.38284.1613. [In Persian]
19. Kweon, G. (2012). Delineation of site-specific productivity zones using soil properties and topographic attributes with a fuzzy logic system. *Biosystems engineering*. 112(4), 261-277. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.04.009.
20. Tuncay, T., Kılıc, Ş., Dedeoğlu, M., Dengiz, O., Başkan, O., & Bayramin, İ.

- (2021). Assessing soil fertility index based on remote sensing and GIS techniques with field validation in a semiarid agricultural ecosystem. *Journal of Arid Environment*. 190, 104525.
21. Duru, N., Dokmen, F., Mucella Canbay, M., & Kurtuluş, C. (2010). Soil productivity analysis based on a fuzzy logic system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90(13), 2220-2227. doi:10.1002/jsfa.4074.
22. Mawale, M. V., & Chavan, V. (2024). Implementation & Simulation of Fuzzy Logic Controllers for Productivity and Fertility of Soil and Performance Evaluation of Triangular Membership Function. *COMPUSOFT: An International Journal of Advanced Computer Technology*, 3(09), 1098-1102.
23. Mallick, K., Sahana, M., & Chatterjee, S. (2022). Comparing Delphi-fuzzy AHP and fuzzy logic membership in soil fertility assessment: a study of an active Ganga Delta in Sundarban Biosphere Reserve, India. *Environmental Science and Pollution Research*. 30(5), 1-27. doi: 10.1007/s11356-022-21983-4.
24. Nabavi, S. F., Yaghmaeian Mahabadi, N., & Mahmoud Soltani, S. (2021). Assessment of Soil Fertility Using Fuzzy Membership Functions and AHP in Paddy Fields (Case Study: Research Fields Goldasht, Amol). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(1), 109-122. doi: 10.22059/ijswr.2020.308462.668707. [In Persian]
25. Dengiz, O., Ozyazici, M. A., & Saglam, M. (2015). Multi-criteria assessment and geostatistical approach for determination of rice growing suitability sites in Gokirmak catchment. *Paddy and Water Environment*. 13(1), 1-10. doi: 10.1007/s10333-013-0400-4.
26. Keykha, E., Fakhireh, A., Rouhani, H., & Behmanesh, B. (2021). Locating of planting project using Analytic Hierarchy Process and Fuzzy logic (Case study: Maravehtappe watershed, Golestan province). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*. 8 (17), 19-40. [In Persian]
27. Vahidi, M. (2020). Land Suitability Evaluation for Barberry and Jujube Using Parametric Method and Analytical Hierarchy Process in Alghoorat Region of Birjand. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 51(10), 2665-2680. doi: 10.22059/ijswr.2020.305789.668663. [In Persian]
28. Arthur, E., Razzaghi, F., & Moosavi, A. A. (2017). Validation of water sorption-based clay prediction models for calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 180, 347-354. doi: 10.1002/jpln.201700001.
29. Zahedifar, M., Dehghani, S., Moosavi, A. A., & Gavili, E. (2017). Temporal variation of total and DTPA-extractable heavy metal contents as influenced by sewage sludge and perlite in a calcareous soil. *Archive of Agronomy and Soil Science*. 63, 136-149. doi: 10.1080/03650340.2016.1193164.
30. Ertugrul, I., & Karakasoglu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 783-795. doi: 10.1007/s00170-007-1249-8.
31. Kilic, O. M., Ersayın, K., Gunal, H., Khalofah, A., & 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, 2634-2644. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.12.050.
32. Tofan, A. S., & Breesam, H. K. (2018). Using the Fuzzy-AHP technique for determining the key performance indicators of public construction companies in Iraq. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9(13), 1431-1445.
33. Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory* (2nd ed.). Pittsburgh, PA: RWS Publications.
34. Goodarzi, A., & Dokht, H. A. (2015). Measuring the Relative Importance of

- Financial Ratios: An Integrated Approach of Fuzzy DEMATEL and Fuzzy ANP. *International Business Management*, 11(3), 81-95. doi: 10.3968/7626.
35. Sener, E., & Davraz, A. (2013). Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). *Hydrology Journal*, 21, 701-714. doi: 10.1007/s10040-012-0947-y.
36. Haq, A. N., & Kannan, G. (2006). Fuzzy analytical hierarchy process for evaluating and selecting a vendor in a supply chain model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29, 826-835. doi: 10.1007/s00170-005-2562-8.
37. Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247.
38. Sarmadian, F., & Keshavarzi, A. (2013). An Investigation of Fuzzy Set Theory's Efficiency in Land Suitability Assessment for Irrigated Wheat in Qazvin Province, Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Regression Methods. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 42(2), 199-207. doi: 10.22059/ijswr.2012.24348.
39. Erhart, E., Hartl, W., & Putz, B. (2005). Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. *European Journal of Agronomy*, 23(3), 305-314. doi: 10.1016/j.eja.2005.01.002.
40. Sing, M., & Sherma, S. N. (2000). Effect of wheat residue management practices and nitrogen rate on productivity and nutrient uptake of rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 70, 835-839.
41. Mousavi, S. A., Sarmadian, F., & Taati, A. (2017). Comparison of AHP and FAO Methods for Land Suitability Evaluation of Rainfed Wheat in Kuhin Area. *Iranian Journal of Soil Research*, 30(4), 367-377. doi: 10.22092/ijsr.2017.109256. [In Persian]
42. Panah-Nezhad, V., Ahmadi Sani, N., & Javanmard, A. (2022). Spatial multi-criteria analysis of ecological land suitability for irrigated farming. *Journal of Agroecology*, 14(2), 219-233. doi: 10.22067/agry.2021.20290.0. [In Persian]
43. Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., & Akbari, M. (2020). Combined fuzzy AHP-GIS for agricultural land suitability modeling for a watershed in southern Iran. *Environmental Management*, 66(3), 364-376. doi: 10.1007/s00267-020-01310-8.
44. Sadegh Zadeh, F., Hassantabar, S., Bahmanyar, M., & Jalili, B. (2018). Reclamation of saline- sodic soil with Clay texture using Dissolved Organic Carbon. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(1), 159-174. doi: 10.22069/ejsms.2018.13846.1769.
45. Gavili, E., Moosavi, A. A., & Moradi Choghamarani, F. (2018). Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, 1714-1727. doi: 10.1080/03650340.2018.1453925.
46. Gavili, E., Moosavi, A. A., & Zahedifar, M. (2019). Integrated effects of cattle manure-derived biochar and soil moisture conditions on soil chemical characteristics and soybean yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65, 1758-1774. doi: 10.1080/03650340.2019.1576864.
47. Chaganti, V. N., Crohn, D. M., & Simunek, J. (2015). Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline- sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 158, 255-265. doi: 10.1016/j.agwat.2015.05.016.
48. Roy, S., & Abul Kashem, M. (2014). Effects of organic manures in changes of some soil properties at different incubation periods. *Open*

- Journal of Soil Science*. 4, 81-86. doi: 10.4236/ojss.2014.43011.
49. Tejeda, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L., & Hernandez, M. T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 38, 1413-1421. doi: 10.1016/j.soilbio.2005.10.017.
50. Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N., Sinobas, L. R., Pazira, E., & Neshat, A. (2013). Reclamation of calcareous saline-sodic soil with different amendments: Redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agricultural Water Management*. 120, 30-38. doi: 10.1016/j.agwat.2012.08.018.