

Analysis of Soil Differences in Saffron Fields Managed by Leading, Skilled, and Ordinary Farmers in Torbat-Heydarieh County

Hamid-Reza Fallahi^{1&2*} and Alijan Salariyan³

1- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Iran
ORCID: 0000-0002-1083-2738

3- Researcher and Technical Expert of Research, Educational and Extension Affairs of Saffron Institute, University of Torbat-Heydariyeh, Torbat-Heydariyeh, Iran
ORCID: 0009-0007-8568-6038

Corresponding author: Hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

Extended Abstract

Introduction: Differences in the physical and chemical properties of soil are among the major factors contributing to the high yield variability observed among saffron fields in Iran. Although some physical properties, such as soil texture (percentages of clay, sand, and silt), are considered inherent soil characteristics and are rarely altered by farmers, other soil properties- including pH, electrical conductivity (EC), organic matter content, soil bulk density, and saturated moisture percentage- are directly or indirectly influenced by various management practices, such as the type and rate of fertilizers applied and the quality of irrigation water. Saffron farmers can improve soil properties to better meet the crop's requirements through practices such as selecting soils with suitable texture, applying sand to partially amend heavy soils, using organic fertilizers, and incorporating plant residues. Accordingly, the aim of the present study was to investigate differences in soil properties among ordinary, skilled, and leading saffron farmers in Torbat-e Heydarieh County, Iran, as one of the main centers of saffron cultivation in Iran and worldwide.

Materials and Methods: In this study, selected soil properties from 125 saffron fields in Torbat-e Heydarieh County were compared among three producer groups: leading (expert) farmers, skilled farmers, and ordinary farmers. The numbers of selected farmers in the ordinary, skilled, and leading groups were 45, 48, and 31, respectively. A completely randomized design (CRD) was employed to compare soil properties among three groups. Due to the unequal number of farms in each treatment, an unbalanced completely randomized design was applied. As the results of the analysis of variance (ANOVA) did not indicate significant differences among the three farmer groups for many of the evaluated traits, descriptive statistics were also used to obtain a more detailed understanding of data behavior.

Accordingly, for each soil property examined, the minimum, maximum, range (maximum-minimum), median, mean, variance, and standard deviation were calculated separately for each producer group. Data analysis was performed using SAS and Microsoft Excel software.

Results and Discussion: The results showed that the soil of saffron fields in Torbat-e Heydariyeh is alkaline (pH: 7.5-8.4). Also, the soil pH of the fields of the three groups of farmers was very similar, and its average for the fields of ordinary, skilled, and expert farmers was 7.9, 7.8, and 7.8, respectively. The mean soil electrical conductivity (EC) of the fields of all farmers was about 1.2 dS m^{-2} , which is within the range tolerated by saffron. The mean soil saturation percentage for the fields of ordinary, skilled, and expert farmers was 36, 37.4, and 38.2 %, respectively. The range of soil organic matter changes in the fields of ordinary, skilled and expert farmers was between 0.14-1.36, 0.14- 1.51 and 0.21-1.4 %, respectively, and its mean value was 0.54, 0.62 and 0.64 %, respectively. The highest and the lowest soil bulk density (1.61 and 1.53 g cm^{-3}) were obtained in the fields of ordinary and expert farmers, respectively. The mean soil clay content in the fields of ordinary, skilled and expert farmers was 13.1, 13.8 and 17.4 %, respectively. Overall, the soil of the fields of expert farmers had higher clay content, organic carbon and saturation percentage and lower bulk density.

Conclusion: Overall, higher clay content, organic matter, and saturation percentage, and lower soil bulk density can be considered as the important reasons for achieving higher yields by leading farmers. In the present study, only differences in soil properties among the three groups of farmers were examined; however, soil-related factors are not the sole contributors to the yield gap observed in saffron fields. Other factors, such as differences in the level of technical knowledge and the agronomic management practices implemented by farmers, may also account for the higher yields achieved by leading farmers.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to the work.

Acknowledgement: This research has been financially supported by the Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh. The grant number was 126950.

Keywords: Electrical conductivity, Organic matter, Soil saturation percentage, Soil bulk density, Yield gap.

تحلیل تفاوت‌های خاک مزارع زعفران تحت مدیریت کشاورزان پیشرو، ماهر و معمولی در شهرستان تربت حیدریه

حمیدرضا فلاحي^{۱*}، علیجان سالاریان^۲

۱- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

ORCID: 0000-0002-1083-2738

۳- پژوهشگر و کارشناس فنی امور پژوهشی، آموزشی و ترویج پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه،

تربت حیدریه، ایران

ORCID: 0009-0007-8568-6038

*نویسنده مسئول: Hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

چکیده

تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک یکی از دلایل مهم اختلاف عملکرد زیاد در بین مزارع زعفران ایران می‌باشد. در این پژوهش برخی خصوصیات خاک تعداد ۱۲۵ مزرعه زعفران در بین سه گروه از تولیدکنندگان شهرستان تربت حیدریه شامل کشاورزان پیشرو (خبیره)، کشاورزان ماهر و کشاورزان معمولی، در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد خاک مزارع زعفران در شهرستان تربت حیدریه قلیایی (شاخص واکنش بین ۷/۵ تا ۸/۴) می‌باشد. همچنین مقدار شاخص واکنش خاک (pH) مزارع سه گروه کشاورزان شباهت زیادی داشت و میانگین آن برای مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۷/۹، ۷/۸ و ۷/۸ به دست آمد. میانگین هدایت الکتریکی خاک (EC) مزارع تمامی کشاورزان حدود ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود که در محدوده قابل تحمل توسط زعفران می‌باشد. میانگین درصد اشباع خاک برای مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۳۶، ۳۷/۴ و ۳۸/۲ درصد بدست آمد. محدوده تغییرات ماده آلی خاک در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب بین ۰/۱-۱۴/۳۶، ۰/۱-۱۴/۵۱ و ۰/۲۱-۱/۴ درصد و مقدار متوسط آن به ترتیب ۰/۵۴، ۰/۶۲ و ۰/۶۴ درصد بود. بیشترین و کمترین مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۶۱ و ۱/۵۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به ترتیب در مزارع کشاورزان

معمولی و پیشرو به دست آمد. متوسط مقدار رس خاک در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۱۳/۱، ۱۳/۸ و ۱۷/۴ درصد بود. در مجموع از منظر خصوصیات خاک، بالاتر بودن محتوای رس، ماده آلی و درصد اشباع و کمتر بودن وزن مخصوص ظاهری خاک می‌تواند از دلایل مهم کسب عملکرد بیشتر توسط کشاورزان پیشرو معرفی شود.

کلمات کلیدی: خلاء عملکرد، درصد اشباع خاک، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی

مقدمه

بررسی روند سه دهه گذشته نشان می‌دهد که با وجود افزایش سطح زیرکشت زعفران در ایران، میانگین عملکرد این محصول کاهش قابل توجهی پیدا کرده است (Behdani & Fallahi, 2024). کوچکی (Koocheki, 2013) میانگین عملکرد مزارع زعفران در ایران را به مراتب کمتر از اسپانیا گزارش نمود. با این وجود نتایج وی نشان داد که در ایران برخی کشاورزان پیشرو تا حدود ۴۰ کیلوگرم کالاله در هر هکتار نیز برداشت می‌نمایند که بیانگر بالا بودن خلاء عملکرد در مزارع ایران است. فیضی و مرادی (Feizi & Moradi, 2020) نیز گزارش کردند که به‌طور میانگین خلاء بیش از ۲۰ کیلوگرم در هکتار بین عملکرد کالاله خشک در شرایط کشت مرسوم و آرمانی زعفران وجود دارد. اقحوانی‌شجری و همکاران (Aghhavanishajari et al., 2014 a & b) در پژوهشی در شهرستان تربت‌حیدریه گزارش کردند که در حدود نیمی از مزارع زعفران عملکرد کالاله ۳/۵ تا ۵ کیلوگرم در هکتار بود. در پژوهش آن‌ها عدم مصرف کافی مواد آلی از جمله مهمترین دلایل اثرگذار بر پایین بودن عملکرد بیان شد.

بسیاری از پرورش‌دهندگان زعفران در ایران فاقد دانش تخصصی لازم در زمینه تولید این گیاه می‌باشند. در بسیاری از مناطق ایران زراعت و تولید زعفران عمدتاً بر اساس روش‌های سنتی و خودآموزته صورت می‌گیرد و کمتر نتایج حاصل از پژوهش‌های علمی جنبه کاربردی پیدا کرده است (Fallahi et al., 2015). این عامل باعث شده تا کارایی فنی و در نتیجه عملکرد مزارع زعفران بسیاری از کشاورزان مطلوب نباشد. پیامد پایین بودن کارایی فنی کشاورزان، بالا بودن تفاوت عملکرد قابل حصول (کشاورزان پیشرو) با عملکرد واقعی بسیاری از تولیدکنندگان (کشاورزان معمولی) است (Fallahi & Salariyan, 2022). شبان و همکاران (Shaban et al., 2014) گزارش کردند که اختلاف بسیار زیادی بین کارایی فنی تولیدکنندگان زعفران وجود دارد. نتایج مشابهی نیز توسط خزیمه‌نژاد

و همکاران (Khozeymehnezhad et al., 2016)، گلکاران مقدم (Golgaran Moghadam, 2013) و محتشمی و همکاران (Mohtashami et al., 2016) گزارش شده است. پایین بودن کارایی فنی بیشتر زعفران-کاران استان خراسان نشان می‌دهد پتانسیل زیادی برای افزایش کارایی فنی و رسیدن به حداکثر محصول وجود دارد (Shaban et al., 2014; Mohtashami et al., 2016).

یکی از موضوعاتی که بسیاری از کشاورزان زعفران‌کار در مورد آن دانش فنی مطلوبی ندارند، اثر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بر رشد و عملکرد زعفران است. در بین خصوصیات فیزیکی، بافت خاک بر توسعه اندام‌های زیرزمینی به خصوص در گیاهان بنه‌ای مانند زعفران و نیز بر میزان نفوذ و نگهداری آب تأثیر بسزایی دارد (Gresta et al., 2009; Aghhavan-Shajari et al., 2015). گزارش شده است که خاک دارای ساختمان متوسط و نفوذپذیری خوب، برای کشت زعفران مناسب محسوب می‌شود (Behdani & Fallahi, 2024). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) دریافتند که بیشترین وزن خشک کلاله زعفران در بافت لوم‌شنی حاصل شد که در مقایسه با بافت لوم و لوم‌رسی برتری داشت. نتایج پژوهشی نشان داد بیشترین عملکرد بنه و گل زعفران در خاک لوم‌شنی و کمترین میزان در خاک رسی به دست آمد (Rezvani Moghadam et al., 2015). در آزمایشی در تعداد ۶۹ مزرعه زعفران در شهرستان سبزوار مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین برای pH خاک به ترتیب ۸/۵۱، ۷/۲۸ و ۸/۰۸، برای درصد رس خاک به ترتیب ۳۴/۰، ۵/۳ و ۱۸/۲ درصد و برای محتوای ماده آلی به ترتیب ۲/۷۷، ۰/۹۴ و ۱/۸۳ درصد گزارش شد (Rivandi et al., 2022). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که میانگین محتوای ماده آلی خاک در ۲۰ مزرعه زعفران ۰/۶۸ درصد بود که در مقایسه با مقدار توصیه شده حدود یک درصد کمتر بود (Fallahi & Salariyan, 2023a). رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2015) نشان دادند که شاخص واکنش (pH)، مقدار روی، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، آهن، هدایت الکتریکی، کربن آلی و پتاسیم خاک توانستند ۷۴ درصد از تغییرات عملکرد زعفران را برآورد نمایند. درصد رطوبت اشباع خاک نیز یکی از پارامترهای موثر بر رشد و عملکرد گیاه است و توصیه می‌شود در محدوده ۳۵ تا ۴۰ درصد قرار داشته باشد (Arianpour and Feizi, 2016). در تحقیقی محتوای ماده آلی خاک و درصد ذرات شن و رس خاک از مهم‌ترین عوامل موثر بر گلدهی زعفران در مزارع استان خراسان بیان شدند (Feizi & Moradi, 2020).

با وجود افزایش سطح دانش و فناوری در طی چند دهه گذشته، عملکرد زعفران در ایران روندی کاهشی داشته است و از منابع آب، خاک، زمان و نهاده‌های زراعی بطور کارآمدی استفاده نمی‌شود. از این‌رو، بایستی دلایل این رخداد در بین گروه‌های مختلف کشاورزان مورد بررسی دقیق قرار گیرد. با مطالعه شیوه‌های مدیریت زراعی و خصوصیات خاک و آب مزارع زعفران در بین کشاورزان معمولی و پیشرو می‌توان دلایل تفاوت در عملکرد مزارع را شناسایی نمود تا با رفع عوامل کاهند عملکرد، میزان تولید گیاه افزایش پیدا نماید (Fallahi & Salariyan, 2023b). یکی از دلایل اختلاف عملکرد بین مزارع زعفران می‌تواند تفاوت در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک باشد. هر چند برخی از خصوصیات فیزیکی مانند بافت خاک (درصد ذرات رس، شن و سیلت) جزو خصوصیات ذاتی خاک بوده و کشاورزان به ندرت اقدام به تغییر آن می‌نمایند، اما برخی خصوصیات دیگر مانند واکنش خاک، هدایت الکتریکی، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت اشباع به طور مستقیم یا غیرمستقیم از عملیات مدیریتی مختلف از جمله نوع و میزان کودهای مصرفی در مزرعه و کیفیت آب آبیاری اثر می‌پذیرند (Karimian Kelishadrokh et al., 2022). کشاورزان زعفران کار می‌توانند با اجرای عملیاتی مانند انتخاب خاک دارای بافت مناسب، مصرف ماسه‌بادی جهت اصلاح نسبی بافت در خاک‌های سنگین، مصرف کودهای آلی و کاربرد بقایای گیاهی موجب اصلاح نسبی خصوصیات مختلف خاک مزرعه، متناسب با نیاز زعفران شوند (Aghhavan Shajari et al., 2015; BaniAsad, 2025). بر این اساس، هدف از پژوهش کنونی بررسی اختلافات موجود در خصوصیات خاک مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشروی زعفران در شهرستان تربت‌حیدریه، به‌عنوان یکی از مراکز اصلی زراعت زعفران در ایران و جهان، بود.

مواد و روش‌ها

محل اجرا و جامعه تحقیق

این تحقیق، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شهرستان تربت‌حیدریه انجام شد و طی آن برخی از مهم‌ترین خصوصیات خاک مزارع زعفران‌کاران این شهرستان به‌عنوان بزرگ‌ترین مرکز تولید زعفران در ایران مورد بررسی قرار گرفت. جامعه آماری تحقیق، زعفران‌کاران شهرستان تربت‌حیدریه (بخش مرکزی، رُخ و زاوه) بودند که از بین آن‌ها تعداد ۱۲۵ کشاورز به عنوان نمونه به شکل تصادفی (از بانک اطلاعات پژوهشکده زعفران و جهاد کشاورزی)

انتخاب شدند. این تعداد بنا به توصیه کارشناسان خاکشناسی و نیز بر اساس میزان بودجه تحقیق انتخاب گردید (Goodarzi, 2009). مختصات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا برای مزارع مورد مطالعه در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی) و ارتفاع از سطح دریا برای برخی از مزارع مورد مطالعه
Table 1. Longitude, latitude and altitude of some of the studied fields

کشاورزان معمولی Ordinary farmers				کشاورزان ماهر Skilled farmers				کشاورزان پیشرو Leading farmers			
شماره مزرعه Field numbe r	طول جغرافیایی Longitud e	عرض جغرافیایی Latitud e	ارتفاع از سطح دریا Altitud e (m)	شماره مزرعه Field numbe r	طول جغرافیایی Longitud e	عرض جغرافیایی Latitud e	ارتفاع از سطح دریا Altitud e (m)	شماره مزرعه Field numbe r	طول جغرافیایی Longitud e	عرض جغرافیایی Latitud e	ارتفاع از سطح دریا Altitud e (m)
1	59° 21'	35° 19'	1387	1	59° 70'	35° 9'	1175	1	59° 21'	35° 24'	1662
2	59° 26'	35° 31'	1786	2	59° 11'	35° 12'	1232	2	58° 53'	35° 36'	1820
3	59° 23'	35° 18'	1353	3	59° 11'	35° 1'	1231	3	59° 17'	35° 22'	1464
4	59° 9'	35° 12'	1251	4	59° 21'	35° 17'	1367	4	59° 21'	35° 24'	1684
5	59° 17'	35° 35'	1666	5	59° 37'	35° 17'	1392	5	59° 18'	35° 21'	1456
6	59° 4'	35° 19'	1450	6	59° 12'	35° 7'	1187	6	59° 14'	35° 16'	1329
7	59° 43'	35° 19'	1843	7	59° 13'	35° 19'	1436	7	59° 50'	35° 12'	1212
8	59° 18'	35° 2'	1240	8	58° 57'	35° 36'	1763	8	58° 59'	35° 35'	1749
9	59° 2'	35° 17'	1379	9	58° 48'	35° 35'	1907	9	59° 20'	35° 32'	1699
10	59° 11'	35° 80'	1285	10	58° 45'	35° 35'	1927	10	59° 23'	35° 20'	1422
11	59° 11'	35° 60'	1175	11	59° 2'	35° 19'	1396	11	59° 20'	35° 18'	1050
12	59° 13'	35° 50'	1154	12	58° 53'	35° 36'	1780	12	59° 15'	35° 17'	1370
13	59° 5'	35° 11'	1246	13	59° 11'	35° 19'	1450	13	59° 20'	35° 22'	1501
14	59° 8'	35° 23'	1596	14	59° 6'	35° 11'	1206	14	59° 7'	35° 9'	1167
15	59° 12'	35° 15'	1327	15	59° 18'	35° 21'	1474	-	-	-	-
16	59° 44'	35° 19'	1552	16	59° 23'	35° 19'	1382	-	-	-	-
17	59° 21'	35° 18'	1366	17	59° 6'	35° 11'	1216	-	-	-	-
18	59° 25'	35° 32'	1758	18	59° 13'	35° 7'	-	-	-	-	-
19	59° 16'	35° 26'	1628	19	59° 14'	35° 17'	1378	-	-	-	-
20	59° 44'	35° 19'	1551	20	59° 15'	35° 19'	1396	-	-	-	-
21	59° 18'	35° 20'	1438	21	59° 25'	35° 32'	1750	-	-	-	-
22	59° 24'	35° 20'	1443	22	59° 24'	35° 25'	1767	-	-	-	-
23	59° 18'	35° 21'	1502	23	59° 17'	35° 36'	1660	-	-	-	-
24	59° 9'	35° 12'	1240	24	59° 23'	35° 2'	1425	-	-	-	-
25	59° 11'	35° 80'	1174	25	59° 17'	35° 21'	1451	-	-	-	-
26	59° 6'	35° 11'	1093	26	59° 16'	35° 19'	1418	-	-	-	-
27	59° 14'	35° 17'	1371	27	59° 13'	35° 18'	1379	-	-	-	-
28	59° 5'	35° 33'	1668	28	59° 16'	35° 19'	14.51	-	-	-	-
29	59° 16'	35° 26'	1601	29	59° 16'	35° 2'	1427	-	-	-	-
30	59° 6'	35° 23'	1725	-	-	-	-	-	-	-	-

تعیین موقعیت مکانی برخی مزارع بدلیل فاصله زمانی بین نمونه برداری خاک تا تعیین مختصات برای نویسندگان ممکن نشد.

گروه بندی کشاورزان

در این پژوهش تفاوت های مربوط به مهم ترین خصوصیات خاک مزارع زعفران در بین سه گروه تولیدکننده زعفران مورد مقایسه قرار گرفت. گروه های مورد مطالعه شامل کشاورزان پیشرو یا خبره، کشاورزان ماهر و کشاورزان معمولی بودند. تعداد کشاورزان انتخابی برای سه گروه معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۴۵، ۴۸ و ۳۱ نفر بود. با توجه به تفاوت در تعداد مزرعه در بین سه گروه کشاورزان، از طرح نامتعادل برای آنالیز آماری کمک گرفته شد و هر مزرعه

معادل با یک تکرار در نظر گرفته شد. قرارگیری کشاورزان در سه طبقه مورد اشاره بر اساس عملکرد کالاله در ارتباط با سن مزرعه و با دریافت نظر تعدادی از کارشناسان تولید زعفران طبق جدول ۲ صورت پذیرفت. با توجه به اینکه با تغییر سن مزرعه، تراکم بانه و وزن بنه‌ها دچار تغییر می‌شود و از این حیث معمولاً مزارع سه تا پنج ساله شرایط بهتری را دارند، در این تقسیم‌بندی سن مزرعه به عنوان عاملی بسیار مهم برای قرارگیری کشاورزان در هر یک از سه گروه مورد مطالعه، منظور گردید.

جدول ۲- مبنای گروه‌بندی کشاورزان بر اساس عملکرد کالاله در ارتباط با سن مزرعه (Fallahi & Salariyan, 2023a)
Table 2 – Basis for grouping farmers based on stigma yield in relation to field age

سن مزرعه (سال) Field age (year)	کشاورز معمولی Ordinary farmers	کشاورز ماهر Skilled farmers	کشاورز خبره Leading or expert farmers
عملکرد کالاله (کیلوگرم در هکتار) Dry stigma yield (kg ha ⁻¹)			
1	≤0.25	0.25-0.5	0.5≤
2	≤ 2	2-4	4≤
3, 4, 5	≤5	5-10	10≤
6	≤3.5	3.5-7	7≤
7≤	≤1.5	1.5-3	3≤

بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی میانگین عملکرد مزارع زعفران ایران ۲/۷۲ کیلوگرم در هکتار است (IMA, 2022)، این در حالی است که پتانسیل عملکرد این محصول بیش از ۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Koocheki, 2020; Feizi & Moradi, 2013). میانگین کشوری اعلام شده برای عملکرد زعفران بدون لحاظ نمودن سن مزرعه می‌باشد، در حالی که برای گروه‌بندی کشاورزان بایستی شاخصی تعریف گردد که در آن سن مزرعه نیز منظور شود. در پژوهش کنونی نیز حداکثر مقدار عملکرد در گروه کشاورزان پیشرو به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار در مزرعه‌ای دو ساله، ۲۰ کیلوگرم کالاله خشک در مزرعه‌ای سه ساله و ۲۵ کیلوگرم کالاله خشک در هر هکتار در مزرعه‌ای چهار ساله ثبت گردید. برای گروه‌بندی کشاورزان به سه دسته معمولی، ماهر و پیشرو، بایستی عملکرد زعفران در ارتباط با سن مزرعه و پتانسیل عملکرد گیاه مورد نظر قرار گیرد. برای این منظور و با توجه به اینکه تاکنون مبنای دقیقی برای این تقسیم‌بندی در منابع علمی وجود نداشت، مجریان تحقیق با لحاظ کردن داده‌های اخذ شده از کشاورزان، تجربیات شخصی و مرور منابع، جدول اولیه‌ای برای این تقسیم‌بندی بر مبنای سن مزرعه

ایجاد نموده و پس از اخذ نظر تعدادی از کارشناسان تولید و زراعت زعفران، از آن به عنوان مبنای گروه‌بندی کشاورزان در تحقیق کنونی استفاده نمودند که نتایج آن در جدول ۲ ارایه شده است.

تعیین خصوصیات خاک

از خاک هر کدام از ۱۲۵ مزرعه مورد مطالعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری اقدام به نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک تا زمان انتقال به آزمایشگاه در سایه و دمای محیط نگهداری گردید. اندازه‌گیری خصوصیات خاک شامل درصد شن، رس و سیلت و تعیین بافت خاک و نیز محتوای ماده آلی، شاخص واکنش (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، درصد اشباع و وزن مخصوص ظاهری در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند صورت گرفت. وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه و با استفاده از پارافین و درصد اشباع بر اساس مقدار آب مصرف شده جهت تهیه گل اشباع تعیین شدند (Black & Hartge, 1986). تعیین درصد ذرات تشکیل دهنده خاک جهت تعیین بافت، با استفاده از روش هیدرومتری صورت گرفت (Danayi Rad, 2016). برای تعیین شاخص واکنش و هدایت الکتریکی، پس از تهیه عصاره گل اشباع به ترتیب از pH متر (مدل D-82362 ساخت شرکت WTW^۱ کشور آلمان) و EC متر (مدل ۷۱۱۰ ساخت شرکت WTW آلمان) استفاده شد (Danayi Rad, 2016; Karimian, 2022). (Kelishadrokh et al., 2022).

تجزیه و تحلیل آماری

در این آزمایش برای مقایسه خصوصیات خاک مزارع بین سه تیمار (کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو) از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. به دلیل متفاوت بودن تعداد مزارع در هر تیمار از آرایش نامتعادل طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از رویه GLM صورت گرفت و به منظور برآورد صحیح اثر تیمارها در طرح نامتعادل، از مجموع مربعات نوع سوم (Type III SS) استفاده شد. مقایسه میانگین‌های تعدیل‌شده (LSMEANS) با استفاده از آزمون توکی و در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. از آنجا که تعداد مزارع در هر تیمار نامتعادل بود، برای ارائه مقایسه دقیق‌تر و اصلاح شده میانگین‌ها، از LSMEANS استفاده شد که اثرات نامتعادلی داده‌ها را در

تحلیل مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) جبران می‌کند. با توجه به اینکه نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای بسیاری از صفات اختلاف معنی‌داری بین سه گروه کشاورزان نشان نداد، برای بررسی دقیق‌تر رفتار داده‌ها از آمار توصیفی نیز استفاده شد. به این منظور، برای هر یک از خصوصیات مورد بررسی خاک، آماره‌های مقدار حداقل، حداکثر، دامنه (اختلاف حداکثر و حداقل)، میانه، میانگین، واریانس و انحراف معیار برای هر یک از گروه‌های تولید کننده بطور جداگانه، محاسبه شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS و Excell استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس بین مزارع سه گروه کشاورزان از نظر شاخص واکنش (pH) خاک تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). نتایج آمار توصیفی نشان داد که کمترین و بیشترین شاخص واکنش در مزارع کشاورزان معمولی و خبره به ترتیب ۷/۶ و ۸/۳ و در مزارع کشاورزان ماهر به ترتیب ۷/۵ و ۸/۴ بود. دامنه تغییرات این شاخص نیز در بین مزارع مختلف مورد مطالعه از ۰/۷ تا ۰/۹ متغیر بود. میانگین شاخص واکنش مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۷/۹، ۷/۸ و ۷/۸ به دست آمد (جدول ۴). این اطلاعات حاکی از قلیایی بودن خاک مزارع زعفران در شهرستان تربت حیدریه می‌باشد. همچنین مقدار شاخص واکنش خاک در بین مزارع متعلق به سه گروه کشاورزان (معمولی، ماهر و پیشرو) شباهت زیادی داشت. مقادیر انحراف معیار (به ترتیب ۰/۱۶۲، ۰/۱۸۳ و ۰/۱۹۵ برای کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو) نسبت به مقدار میانگین بسیار کوچک هستند (جدول ۴). بنابراین، پراکندگی داده‌های pH در هر سه گروه کشاورزان پایین بوده و یکنواختی مناسبی در نمونه‌های خاک از حیث این شاخص مشاهده می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که شرایط واکنش خاک در مزارع هر سه گروه از پایداری و همگنی قابل قبولی برخوردار بوده و نوسانات بین مزرعه‌ای حداقل بوده است.

در پژوهش مشابهی مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین شاخص واکنش خاک در ۵۰ مزرعه زعفران در سطح استان‌های خراسان رضوی و جنوبی به ترتیب ۶/۸، ۸/۳ و ۷/۵۵ گزارش شد (Rezvani Moghaddam et al., 2015). در تحقیق دیگری در مزارع زعفران شهرستان سبزوار این مقادیر به ترتیب ۷/۲۸، ۸/۵۱ و ۸/۰۸ تعیین شد (Rivandi et al., 2022). میانگین شاخص واکنش خاک در ۳۰ مزرعه زعفران شهرستان قاین نیز ۷/۸ و دامنه تغییرات آن بین ۷/۴۱ تا ۸/۲۶ بود (Ranjbar et al., 2015). کاشت زعفران عمدتاً در مناطق خشک کشور رایج است و اخیراً

در استان‌های شمالی با شاخص واکنش پایین‌تر نیز رایج شده است. در پژوهشی در استان گلستان مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین این شاخص در مزارع زعفران به‌ترتیب ۷/۲، ۷/۸ و ۷/۵ گزارش شد که کمتر از مقادیر گزارش شده در مزارع مناطق خشک است. همچنین رابطه همبستگی بین این شاخص و عملکرد زعفران منفی بود و با افزایش pH عملکرد گیاه کاهش پیدا کرد (Tashakkori et al., 2021). از آنجا که افزایش شاخص واکنش خاک بر جذب بیشتر عناصر غذایی توسط گیاه اثر منفی دارد، تنظیم این شاخص می‌تواند بر بهبود عملکرد زعفران اثر مثبتی داشته باشد (Maktabdaran et al., 2019; Behdani & Fallahi, 2024). در پژوهشی در ۱۰ منطقه در کشور هند محدوده تغییرات شاخص واکنش خاک مزارع زعفران بین ۵/۷ تا ۶/۴ بود (Kumar et al., 2025) که در مقایسه با موارد مشابه در ایران در دامنه اسیدی قرار دارد. در پژوهشی بر روی مزارع زعفران شهرستان سرایان گزارش شد که با افزایش pH خاک عملکرد بنه‌های دختری زعفران کاهش یافت (Bani-Asad, 2025). کاهش pH خاک مزرعه زعفران موجب تسهیل جذب آنیون‌هایی نظیر نترات و فسفات و افزایش قابلیت جذب عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاه می‌شود (Helalbeyki et al., 2015). عمادی و پیراسته انوشه (Emadi & Pirasteh-Anosheh, 2024) محدوده کمی اسیدی تا خنثی (شاخص واکنش ۶ تا ۷/۵) را که در آن فراهمی بسیاری از عناصر غذایی در حد مطلوب است، برای زراعت زعفران پیشنهاد نمودند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به تفاوت‌های برخی ویژگی‌های خاک مزارع زعفران تحت مدیریت کشاورزان پیشرو، ماهر و معمولی

Table 3- Analysis of variance (mean squares) related to the differences in some soil characteristics of saffron fields managed by leading, skilled, and ordinary farmers

منابع تغییر S.O.V	درجه ازادی df	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC	درصد اشباع Saturation percenteg e	کربن آلی Organi c carbon	ماده آلی Organi c matter	وزن مخصوص ظاهری Soil bulck density	درصد شن Sand percent age	درصد سیلت Silt percentag e	درصد رس Clay percentag e
گروه‌های کشاورزان Farmers Groups	2	0.030 ^{ns}	0.16 ^{ns}	43.95 ^{ns}	0.035 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.051 ^{**}	275.9 ^{ns}	109.6 ^{ns}	169.5 ^{**}
خطا Error	121	0.032	0.80	23.18	0.027	0.08	0.003	128.8	73.8	35.9

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: عدم معنی‌داری

** : significant at the 1% probability level; ns: not significant

جدول ۴- تغییرات شاخص واکنش (pH) خاک مزارع منتخب شهرستان تربت‌حیدریه در بین سه گروه مهم تولید کننده زعفران
Table 4- Changes in soil pH of selected fields in Torbat-e-Heydariyeh County among the three major saffron producing groups

انحراف معیار	واریانس	میانگین	میانه	دامنه	حداکثر	حداقل	گروه مورد مطالعه
Standard deviation	Variance	Mean	Median	Range	Max	Min	Faermers category
0.162	0.026	7.91	7.90	0.7	8.3	7.6	کشاورز معمولی Ordinary farmers
0.183	0.033	7.88	7.80	0.9	8.4	7.5	کشاورز ماهر Skilled farmers
0.195	0.038	7.85	7.84	0.7	8.3	7.6	کشاورز خبره یا پیشرو Leading or expert farmers

اثر سطح مهارتی کشاورزان (پیشرو، ماهر و معمولی) بر هدایت الکتریکی خاک مزارع زعفران از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). بر اساس آماره‌های توصیفی، حداقل مقدار هدایت الکتریکی خاک در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۶ و ۰/۸۴ دسی‌زیمنس بر متر و حداکثر مقادیر به ترتیب ۴/۶۹، ۴/۴۶ و ۵/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. بیشترین دامنه تغییرات هدایت الکتریکی به مقدار ۴/۲۳ واحد در مزارع متعلق به کشاورزان پیشرو بدست آمد. مقدار متوسط هدایت الکتریکی خاک مزارع تمامی کشاورزان در حدود ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۵). در مجموع، شاخص هدایت الکتریکی عصاۃ اشباع خاک در بین مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو تفاوت قابل توجهی نداشت. همچنین، مقدار هدایت الکتریکی خاک بیشتر مزارع در محدوده قابل تحمل توسط زعفران قرار داشت (Behdani & Fallahi, 2024). در پژوهشی در شهرستان قاینات دامنه تغییرات هدایت الکتریکی مزارع زعفران بین ۱/۱ تا ۸/۰ و مقدار متوسط آن ۳/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر بود (Ranjbar et al., 2015). میانگین هدایت الکتریکی خاک مزارع زعفران شهرستان سبزوار نیز ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (Rivandi et al., 2022). تشکری و همکاران (Tashakkori et al., 2019)، با نمونه‌برداری از خاک تعدادی از مزارع زعفران شهرستان آزادشهر، گزارش کردند که هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک به طور متوسط در حدود ۰/۹۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. در پژوهشی در کشور هند دامنه تغییرات هدایت الکتریکی خاک ۱۰ مرزعه زعفران بین ۰/۰۱ تا ۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد (Kumar et al., 2025) که بسیار کمتر از گزارش‌های مرتبط با خاک مزارع زعفران ایران است. با توجه به اینکه زعفران تحمل بالایی به تنش شوری ندارد، کاشت این گیاه در خاک‌هایی که هدایت الکتریکی کمتری دارند، قابل توصیه است (Behdani & Fallahi, 2024).

میانگین هدایت الکتریکی خاک در گروه‌های کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۲/۰۸، ۲/۱۹ و ۲/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر بود که نشان‌دهنده شباهت کلی شوری خاک در بین گروه‌هاست. با این حال، مقادیر نسبتاً بالای واریانس و انحراف معیار (جدول ۵)، حاکی از تغییرپذیری قابل توجه شوری در داخل هر گروه است. این موضوع بیان می‌کند که هدایت الکتریکی خاک در مزارع یکنواخت نبوده و تفاوت‌های درون‌مزرعه‌ای در هر سه گروه وجود دارد.

جدول ۵- تغییرات شوری (هدایت الکتریکی) خاک مزارع منتخب شهرستان تربت‌حیدریه در بین سه گروه مهم تولید کننده زعفران
Table 5- Changes in soil electrical conductivity (EC) of selected fields in Torbat-e-Heydariyeh County among the three major saffron producing groups

گروه مورد مطالعه Farmers category	حداقل Min (dS m ⁻¹)	حداکثر Max (dS m ⁻¹)	دامنه Range	میانه Median	میانگین مزارع Mean (dS m ⁻¹)	واریانس Variance	انحراف معیار Standard deviation
کشاورز معمولی Ordinary farmers	0.95	4.69	3.74	1.99	2.08	0.621	0.788
کشاورز ماهر Skilled farmers	0.96	4.46	3.50	1.87	2.19	0.910	0.954
کشاورز خبره یا پیشرو Leading or expert farmers	0.84	5.07	4.23	1.89	2.08	0.901	0.949

بر اساس آماره‌ها توصیفی، حداقل و حداکثر درصد اشباع خاک در مزارع کشاورزان معمولی به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد، در مزارع کشاورزان ماهر ۳۰ و ۴۶ درصد و در مزارع کشاورزان پیشرو به ترتیب ۲۸ و ۵۳ درصد بود. میانگین درصد اشباع خاک نیز در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۳۶، ۳۷/۴ و ۳۸/۲ درصد بود. مقادیر انحراف معیار (به ترتیب ۵/۱۳، ۴/۳۳ و ۵/۰۳ برای کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو) نیز بیانگر پراکندگی متوسط داده‌ها و وجود تفاوت‌های درون‌مزرعه‌ای در هر سه گروه است (جدول ۶). بالاتر بودن نسبی درصد اشباع خاک در مزارع کشاورزان پیشرو، می‌تواند به بالاتر بودن محتوای ماده آلی (جدول ۷) و درصد رس در خاک این مزارع مرتبط باشد. در پژوهش مکتب‌داران و همکاران (Maktabdaran et al., 2019) در دو شهرستان نهبندان و قاینات درصد رطوبت اشباع خاک مزارع انتخابی به ترتیب در محدوده ۳۵ تا ۳۶/۳ و ۳۴/۲ تا ۴۲/۱ درصد بدست آمد. درصد رطوبت اشباع خاک یکی از پارامترهای موثر بر میزان گلدهی بنه زعفران است و توصیه می‌شود در محدوده ۳۵ تا ۴۰ درصد

قرار داشته باشد. درصد رطوبت اشباع بیش از ۴۰ درصد که عمدتاً در خاک‌های سنگین مشاهده می‌شود، منجر به کاهش تهویه خاک شده و خصوصاً در هوای گرم می‌تواند منجر به پوسیدگی بنه شود. با این وجود، درصد رطوبت اشباع کمتر از ۳۵ درصد که معمولاً در خاک‌های سبک رخ می‌دهد نشان دهنده توانایی پایین خاک در نگهداری رطوبت است. در این گونه خاک‌ها باید فواصل زمانی بین آبیاری‌ها را کاهش داد (Arianpour and Feizi, 2016). نتایج بنی‌اسد (Bani-Asad, 2025) در پژوهش بر روی مزارع زعفران شهرستان سرایان نشان داد با افزایش درصد اشباع خاک در محدوده ۲۵ تا ۴۰ درصد، عملکرد کلالة زعفران به‌صورت خطی افزایش پیدا کرد.

جدول ۶- تغییرات درصد رطوبت اشباع خاک مزارع منتخب شهرستان تربت‌حیدریه در بین سه گروه مهم تولید کننده زعفران
Table 6- Changes in soil saturation percentage of selected fields in Torbat-e-Heydariyeh County among the three major saffron producing groups

انحراف معیار	واریانس	میانگین مزارع	میانه	دامنه	حداکثر	حداقل	گروه مورد مطالعه
Standard deviation	Variance	Mean (%)	Median	Range	Max (%)	Min (%)	Faermers category
5.13	26.3	36.0	36.0	25	50	25	کشاورز معمولی Ordinary farmers
4.33	18.78	37.4	37.0	16	46	30	کشاورز ماهر Skilled farmers
5.03	25.4	38.2	37.8	25	53	28	کشاورز خبره یا پیشرو Leading or expert farmers

ماده آلی خاک مزارع سه گروه کشاورزان پیشرو، ماهر و معمولی فاقد تفاوت آماری معنی‌داری بود (جدول ۳). بر اساس اطلاعات حاصل از آمار توصیفی، درصد ماده آلی خاک در مزارع کشاورزان معمولی بین ۰/۱۴ تا ۱/۳۶ درصد، در مزارع کشاورزان ماهر بین ۰/۱۴ تا ۱/۵۱ درصد و در مزارع کشاورزان پیشرو بین ۰/۲۱ تا ۱/۴ درصد متغیر بود. در بین مزارع متعلق به هر سه گروه کشاورزان بین حداقل و حداکثر مقدار ماده آلی خاک تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به نحوی که دامنه تغییرات این شاخص در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به‌ترتیب ۱/۲۲، ۱/۳۷ و ۱/۱۹ واحد بود. روند مشابهی نیز در مورد محتوای کربن آلی خاک مشاهده شد. میانگین درصد کربن آلی و ماده آلی خاک در مزارع کشاورزان پیشرو (به‌ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۶۴ درصد) و ماهر (به‌ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۶۲ درصد) بیشتر از مزارع کشاورزان معمولی (به‌ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۵۴ درصد) بود (جدول ۷). با این وجود، با توجه به اینکه مقدار مناسب ماده آلی خاک برای زراعت زعفران از نظر کارشناسان و آزمایشگاه تخصصی خاکشناسی به‌ترتیب ۱/۸ و

بیش از ۱/۷ درصد پیشنهاد شده است (Fallahi & Salariyan, 2023a)، کمبود ماده آلی در خاک مزارع زعفران تربت حیدریه مشهود است. به هر ترتیب، بالاتر بودن محتوای ماده آلی خاک در مزارع کشاورزان پیشرو، به احتمال زیاد یکی از دلایل مهم کسب عملکرد بیشتر توسط این گروه از تولید کنندگان در مقایسه با کشاورزان معمولی می‌باشد. استفاده از کودهای سبز، کم‌خاکورزی، کاهش مصرف و یا جایگزینی کودهای شیمیایی با منابع آلی و رعایت تناوب زراعی، از جمله عواملی هستند که موجب بهبود مقدار ماده آلی خاک در مزارع می‌شوند (Karimian et al., 2022).

نتایج پژوهشی در کشور هند نشان داد که مقدار کربن آلی خاک تعداد ۱۰ مزرعه منتخب بین ۱/۱ تا ۲/۶ درصد متغیر بود (Kumar et al., 2025). این در حالی است که در تحقیقی میانگین محتوای کربن آلی خاک مزارع منتخب استان خراسان فقط ۰/۰۸ درصد گزارش شد (Rezvani Moghaddam et al., 2015). بر این اساس، فقر خاک مزارع زعفران ایران از حیث ماده آلی می‌تواند از عوامل مهم بالا بودن خلاء عملکرد مزارع باشد. تشکری و همکاران (Tashakkori et al., 2019) گزارش کردند که ماده آلی خاک مزارع زعفران در آزادشهر استان گلستان به طور متوسط ۱/۷۸ درصد بود. همچنین، عملکرد زعفران با مقادیر ماده آلی خاک رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار داشت. در بسیاری از مزارع زعفران مناطق خشک محتوای ماده آلی خاک کمتر از حد توصیه شده برای زعفران است. بر همین اساس، مصرف کودهای آلی در این مناطق به عنوان یک راهکار مهم جهت افزایش ماده آلی و اصلاح خصوصیات خاک جهت بهبود رشد و عملکرد زعفران توصیه شده است (Koocheki et al., 2018; Fallahi et al., 2021).

جدول ۷- تغییرات درصد کربن و ماده آلی خاک مزارع منتخب شهرستان تربت حیدریه در بین سه گروه مهم تولید کننده زعفران

Table 7- Changes in soil organic matter and carbon of selected fields in Torbat-e-Heydariyeh County among the three major saffron producing groups

گروه مورد مطالعه Farmers category	حداقل Min (%)		حداکثر Max (%)		دامنه Range		میان Median		میانگین مزارع Mean (%)		واریانس Variance		انحراف معیار Standard deviation	
	OM	OC	OM	OC	OM	OC	OM	OC	OM	OC	OM	OC	OM	OC
کشاورز معمولی Ordinary farmers	0.14	0.08	1.36	0.79	1.22	0.71	0.59	0.34	0.54	0.31	0.083	0.027	0.28	0.16
کشاورز ماهر Skilled farmers	0.14	0.08	1.51	0.88	1.37	0.80	0.57	0.33	0.62	0.36	0.106	0.035	0.32	0.18
کشاورز خبره یا پیشرو Leading or expert farmers	0.21	12/0.	1.40	0.81	1.19	0.69	0.52	0.30	0.64	0.37	0.053	0.018	0.23	0.13

OM= ماده آلی و OC= کربن آلی-----OM= organic matter & OC= organic carbon

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، بین مزارع کشاورزان پیشرو، ماهر و معمولی از نظر وزن مخصوص ظاهری خاک تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). حداقل و حداکثر مقادیر وزن مخصوص ظاهری خاک در مزارع کشاورزان معمولی به ترتیب ۱/۵۱ و ۱/۷۶، در مزارع کشاورزان ماهر به ترتیب ۱/۴۹ و ۱/۶۸ و در مزارع کشاورزان پیشرو به ترتیب ۱/۴۶ و ۱/۷۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. متوسط مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک در مزارع کشاورزان ماهر به میزان ۱/۲ درصد و در مزارع کشاورزان پیشرو به مقدار ۵/۲ درصد کمتر از وزن مخصوص ظاهری خاک در مزارع کشاورزان معمولی بود (جدول ۸). میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۱/۶۱، ۱/۵۹ و ۱/۵۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و مقادیر میانه به ترتیب ۱/۶۲، ۱/۵۸ و ۱/۵۷ بود. این نتایج حاکی از کاهش جزئی وزن مخصوص خاک در مزارع کشاورزان پیشرو نسبت به سایر گروه‌هاست. مقادیر انحراف معیار (به ترتیب ۰/۰۶۰، ۰/۰۵۴ و ۰/۰۶۸ برای کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو) نشان‌دهنده پراکندگی محدود داده‌ها و یکنواختی نسبتاً مناسب وزن مخصوص خاک در هر سه گروه کشاورزان می‌باشد (جدول ۸). کاهش نسبی میانگین و میانه در گروه کشاورزان پیشرو می‌تواند با بهبود مدیریت خاک و افزایش مواد آلی مرتبط باشد، که موجب کاهش تراکم خاک و افزایش تخلخل می‌شود.

کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک یک مولفه مثبت جهت افزایش تهویه و نفوذپذیری خاک به شمار می‌رود. این موضوع می‌تواند در بهبود رشد گیاهان غده‌ای مانند زعفران اثر قابل توجهی داشته باشد (Fallahi & Salariyan, 2022). به نظر می‌رسد پایین بودن وزن مخصوص ظاهری در خاک مزارع کشاورزان پیشرو به بالاتر بودن محتوای ماده آلی خاک (جدول ۷) در مزارع این گروه از کشاورزان مرتبط باشد. رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2015) وزن مخصوص ظاهری خاک را یکی از عوامل مهم در برآورد عملکرد زعفران دانستند. در پژوهش آن‌ها مقدار متوسط وزن مخصوص ظاهری خاک مزارع زعفران شهرستان قاینات ۱/۵۷ و دامنه تغییرات آن بین ۱/۳ تا ۱/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. خرم دل و همکاران (Khoramdel et al., 2014) نیز گزارش کردند که کاهش تراکم خاک باعث توسعه رشد بنه و افزایش عملکرد زعفران می‌شود. در پژوهشی در ۱۰ منطقه کشور هند وزن مخصوص ظاهری خاک مزارع زعفران بین ۰/۸ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود (Kumar et al., 2025) که در مقایسه با نتایج آزمایشات اجرا شده در ایران به مراتب کمتر می‌باشد.

جدول ۸- تغییرات وزن مخصوص ظاهری خاک مزارع منتخب شهرستان تربت حیدریه در بین سه گروه مهم تولید کننده زعفران

Table 8- Changes in soil bulk density of selected fields in Torbat-e-Heydariyeh County among the three major saffron producing groups

انحراف معیار	واریانس	میانگین مزارع	میان	دامنه	حداکثر	حداقل	گروه مورد مطالعه
Standard deviation	Variance	Mean (g cm ³)	Median	Range	Max (g cm ³)	Min (g cm ³)	Faermers category
0.060	0.0036	1.61 ^a	1.62	0.25	1.76	1.51	کشاورز معمولی Ordinary farmers
0.054	0.0029	1.59 ^a	1.58	0.19	1.68	1.49	کشاورز ماهر Skilled farmers
0.068	0.0046	1.53 ^b	1.57	0.27	1.73	1.46	کشاورز خبره یا پیشرو Leading or expert farmers

در مورد مقدار میانگین وزن مخصوص ظاهری، میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد هستند

Regarding the trait of mean bulk deensity, means with the same letters are not significantly different based on Tukey's test at the 5% probability level.

در بین ذرات تشکیل دهنده خاک فقط محتوای رس در بین مزارع سه گروه کشاورزان دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۳). بر اساس آماره‌های توصیفی، حداقل درصد شن خاک برای مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۳۶، ۳۲ و ۱۴ درصد و حداکثر درصد شن به ترتیب ۷۸، ۸۲ و ۷۰ درصد بود. مقدار سیلت خاک در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب بین ۱۴ تا ۵۴، ۱۴ تا ۵۶ و ۲۲ تا ۵۲ درصد متغیر بود. حداقل و حداکثر مقدار رس در خاک مزارع کشاورزان معمولی و ماهر به ترتیب ۲ و ۲۴ درصد و در خاک مزارع کشاورزان پیشرو به ترتیب ۶ و ۴۰ درصد بود. میانگین محتوای ذرات خاک نشان داد که خاک مزارع کشاورزان پیشرو، درصد رس بیشتر و درصد شن کمتری در مقایسه با خاک مزارع کشاورزان معمولی داشت (جدول ۹). بنی‌اسد (Bani-Asad, 2025) گزارش کرد با وجود اثر مطلوب خاک دارای بافت نسبتاً سبک بر رشد بانه، با توجه به این که ذرات شن توانایی پایینی در جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی دارند، افزایش بیش از حد این ذرات به خصوص به بیش از ۴۰ درصد باعث کاهش عملکرد کلالة زعفران شد. نتایج وی نشان داد افزایش درصد سیلت تا حدود ۶۰ درصد و درصد رس تا حدود ۳۰ درصد باعث افزایش رشد بانه و عملکرد کلالة گردید.

مطالعات نشان داده است که خاک دارای بافت سبک مانند لوم‌شنی در مقایسه با خاک دارای بافت سنگین و رسی گلدهی زعفران را بهبود می‌بخشد (Rezvani Moghadam et al., 2015). دلیل این موضوع به رشد بهتر بانه در خاک‌های سبک‌تر و کاهش پوسیدگی بانه در اثر بهبود زهکشی خاک نسبت داده شده است (Aghhavan Shajari et al., 2015). متوسط مقدار رس خاک در مزارع کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو به ترتیب ۱۳/۱، ۱۳/۸ و ۱۷/۴

درصد بود (جدول ۹). در آزمایشی خاک دارای بافت لوم با حدود ۴۰ درصد از هر کدام از ذرات شن و سیلت و حدود ۲۰ درصد رس، برای زراعت زعفران توصیه شد (Fallahi & Salariyan, 2023b). بر اساس نتایج آزمایش خاک، بافت خاک ۳۳ درصد از کشاورزان معمولی، ۴۴ درصد کشاورزان ماهر و ۳۴ درصد کشاورزان پیشرو از نوع لومی بود. در آزمایشی در شهرستان قاینات میانگین درصد رس خاک مزارع زعفران ۱۹/۵ درصد و دامنه تغییرات آن بین ۱۳ تا ۲۵/۳ درصد گزارش شد. مقادیر متوسط درصد شن و سیلت خاک نیز به ترتیب ۴۳/۱ و ۳۷/۳ درصد تعیین شد (Ranjabr et al., 2015). در پژوهش ریوندی و همکاران (Rivandi et al., 2022) نیز مقادیر متوسط درصد رس، سیلت و شن مزارع زعفران شهرستان سبزوار به ترتیب ۱۸/۲، ۳۰/۸ و ۵۰/۸ درصد اعلام شد.

نتایج پژوهشی در مزارع شهرستان سرایان نشان داد با افزایش درصد رس تا حدود ۲۷ درصد، عملکرد بنه‌های دختری زعفران افزایش پیدا کرد و پس از آن افزایش بیشتر در محتوای ذرات رس خاک موجب کاهش عملکرد بنه شد. همچنین، با افزایش درصد رس به حدود ۳۰ درصد، عملکرد کلاله خشک زعفران به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (Bani-Asad, 2025). این نتایج با یافته‌های عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2013) همخوانی ندارد. در پژوهش آن‌ها افزایش درصد رس خاک از ۱۰ به ۳۰ درصد باعث کاهش عملکرد بنه‌های دختری شد. با این وجود، نتایج تحقیقی در شهرستان قاین نشان داد تأثیر رس خاک بر عملکرد محصول زعفران مثبت و معنی‌دار بود. با افزایش یک واحدی مقدار رس حدود ۰/۱۹ کیلوگرم بر عملکرد زعفران افزوده شد. با این وجود، این رابطه تا همیشه مثبت نبوده و افزایش بیش از حد هر یک از ذرات خاک ممکن است باعث کاهش عملکرد شود، از این رو توجه به نسبت بین اجزای تشکیل‌دهنده خاک شامل رس، شن و سیلت ضروری است (Rahmani Khalili et al., 2023). هر چند سهم هر یک از ذرات تشکیل‌دهنده خاک جزو خصوصیات ذاتی و تغییرناپذیر خاک‌ها محسوب می‌شوند، ولی با انتخاب خاک دارای بافت مناسب و نیز کاربرد ماسه‌بادی در خاک‌های سنگین می‌توان شرایط فیزیکی خاک برای بهبود رشد بنه‌های زعفران را بهبود بخشید (Aghhavan Shajari et al., 2015).

جدول ۹- تغییرات درصد ذرات خاک مزارع منتخب شهرستان تربت-حیدریه در بین سه گروه مهم تولید کننده زعفران

Table 9- Changes in soil particles percentage of selected fields in Torbat-e-Heydariyeh County among the three major saffron producing groups

گروه مورد مطالعه Farmers category	حداقل Min (%)			حداکثر Max (%)			دامنه تغییرات Range			میان Median			میانگین مزارع Mean (%)			واریانس Variance			انحراف معیار Standard deviation		
	Sa	SI	Cl	Sa	SI	Cl	Sa	SI	Cl	Sa	SI	Cl	Sa	SI	CL	Sa	SI	Cl	Sa	SI	Cl
کشاورز معمولی Ordinary farmers	36	14	2	78	54	24	42	40	22	55.0	32	13	54.9	32.0	13.1 ^b	121.3	69.9	25.5	11.0	8.36	5.04
کشاورز ماهر Skilled farmers	32	14	2	82	56	24	50	42	22	50.0	35	14	50.8	35.3	13.8 ^b	130.1	95.2	28.6	11.41	9.76	5.35
کشاورز خبره یا پیشرو Leading or expert farmers	14	22	6	70	52	40	56	30	34	50.4	32	16.6	49.4	33.1	17.4 ^a	136.9	47.3	61.1	11.70	6.88	7.82

Sa= sand, SI= silt & CL= clay -- درصد رس = CL و درصد سیلت = SI، درصد شن، = Sa

در مورد صفت میانگین درصد رس مزارع، میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد هستند

Regarding the trait of mean clay percentage, means with the same letters are not significantly different based on Tukey's test at the 5% probability level.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که خاک مزارع کشاورزان پیشرو از حیث برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل محتوای ماده آلی، درصد اشباع، وزن مخصوص ظاهری و نسبت بین ذرات تشکیل دهنده خاک بطور نسبی در مقایسه با مزارع کشاورزان معمولی دارای برتری بود. با این وجود، حتی در مزارع کشاورزان پیشرو بایستی افزایش ماده آلی خاک به عنوان یک عامل کلیدی در بهبود سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد توجه قرار گیرد. در گروه کشاورزان معمولی بیشترین عملکرد کالاه خشک در مزارع ۲، ۳ و ۴ ساله به ترتیب ۱/۹، ۴/۳ و ۴/۵ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب ۱۵۰، ۳۴۰ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار گل تر) ثبت شد. متوسط مساحت مزارع این گروه از کشاورزان ۰/۳۸ هکتار بود و متوسط عملکرد گل تر و کالاه خشک مزارع به ترتیب ۱۴۸/۳ و ۱/۸۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در بین مزارع کشاورزان ماهر بیشترین عملکرد ثبت شده برای مزارع ۲، ۳، ۴ و ۵ ساله به ترتیب ۴، ۹/۴ و ۷/۴۵ کیلوگرم کالاه خشک و به ترتیب ۳۲۹، ۷۵۰، ۵۶۲ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار گل تر بود. میانگین مساحت مزارع این گروه از کشاورزان ۰/۵۶ هکتار، میانگین عملکرد گل تر ۳۸۸/۸ کیلوگرم در هکتار و میانگین عملکرد کالاه خشک آنها در مزارع با سنین مختلف ۴/۸۶ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین عملکرد ثبت شده برای مزارع ۲، ۳ و ۴ ساله متعلق به کشاورزان پیشرو به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کالاه خشک (۸۰۵، ۱۵۷۰ و ۱۹۵۰ کیلوگرم گل تر) بود. مساحت مزارع این کشاورزان بین ۰/۱ تا ۱۰۰ هکتار و به طور متوسط ۹/۸ هکتار تعیین شد. میانگین عملکرد گل و کالاه خشک در بین تمام سنین مزارع کشاورزان پیشرو به ترتیب ۹۳۹/۹ و ۱۱/۸۶ کیلوگرم در هکتار بود. در مجموع، در بین تمامی گروه های تولید کننده بیشترین عملکرد در مزارع ۴ تا ۵ ساله حاصل شد و کشاورزان پیشرو دارای مزارع وسیع تری بودند. در این پژوهش تنها تفاوت در خصوصیات خاک بین سه گروه کشاورزان بررسی شد، ولی عوامل خاکی تنها دلیل بالا بودن خلاء عملکرد مزارع زعفران نیستند. موارد دیگری مانند تفاوت در سطح دانش فنی و مدیریت زراعی اعمال شده توسط کشاورزان می تواند از دیگر دلایل کسب عملکرد بیشتر توسط کشاورزان پیشرو باشد.

این مقاله مستخرج از نتایج طرح پژوهشی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۲۶۹۵۰ از محل اعتبارات پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه می باشد.

منابع

- Aghhavani-Shajari, M., Najafi, M., Fallahi, H.R., & Amini, M.A. (2014a). Study of traditional opinions of saffron farmers in Torbat Heydariyeh. 3th National Conference on Latest Scientific Research Achievements of Saffron. Torbat Heydariyeh, Iran. 26-27 November. 86p. [In Persian].
- Aghhavani-Shajari, M., Feizi, H., Abedi, Sh., Afsari Ghale-Zoo, N., & Fallahi, H.R. (2014b). Evaluation of traditional methods of saffron cultivation in Torbat Heydariyeh. 3th National Conference on Latest Scientific Research Achievements of Saffron. Torbat Heydariyeh, Iran. 26-27 November. 31 p. [In Persian].
- Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Fallahi, H.R., & Taherpour Kalantari, R. (2015). Evaluation of the effects of soil texture on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 2(4), 311-322. <https://doi.org/10.22048/jsat.2015.8624>. [In Persian].
- Arianpour, H., & Feizi, H. (2016). Soils: Nature Conservation and Management. Translated by Research and Innovation Center of the ETAKA Organization, Tehran, Iran. [In Persian].
- Azizi, E., Jahani Kondori, M., & Divan, R. (2013). The effect of soil physiochemical characteristics and field age on agronomic traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 5(2), 134-142. <https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24491>. [In Persian with English Summary].
- Bani-Asad, M. (2025). Effect of soil and water properties on saffron flowering in fields with different ages, in the climatic conditions of Sarayan. M.Sc Thesis, University of Birjand. [In Persian with English Summary].
- Behdani, M.A., & Fallahi, H.R. (2024). Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Press. The second edition. [In Persian].
- Black, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Agronomy Monograph 9, pp. 374- 380.

- Danayi Rad, E. (2016). Laboratory Methods in Agricultural Sciences and Biology. Tarjoma Kherad Press. [In Persian].
- Emadi, A., & Pirasteh-Anosheh, H. (2024). The effect of water and soil pH on the growth and yield of saffron. 7th National Conference of Saffron. 13-14 November, Birjand, Iran. [In Persian with English Summary].
- Fallahi, H.R., Alami, S., Behdani, M.A., & Aghhavani Shajari, M. (2015). Evaluation of local and scientific knowledge in saffron agronomy (Case study: Sarayan). *Journal of Saffron Research*, 3(1), 31-50. <https://doi.org/10.22077/jsr.2015.311>. [In Persian with English Summary].
- Fallahi, H., Salariyan, A., & Aghhavani-Shajari, M. (2021). Analytical review on nutritional management of saffron. 6th National Conference on Saffron. 17-18 November, University of Gonabad, Gonabad, Iran. [In Persian with English Summary].
- Fallahi, H.R., & Salariyan, A. (2022). Comparison of agronomic management of leading, skilled and ordinary farmers of saffron and its compliance with the results of scientific research. Final report of research project, Saffron institute, University of Torbat-Heydariyeh. [In Persian with English Summary].
- Fallahi, H.R., & Salariyan, A. (2023a). Evaluation of saffron irrigation and nutritional management among different farmers groups compared to experts recommendations. *Saffron Agronomy & Technology*, 10(4), 371- 390. <https://doi.org/10.22048/jsat.2022.357060.1466>. [In Persian with English Summary].
- Fallahi, H.R., & Salariyan, A. (2023b). Analysis and description of the most important agronomic factors affecting yield gap of saffron fields in Torbat-Heydariyeh. *Saffron Agronomy & Technology*, 11(1), 23-51. <https://doi.org/10.22048/jsat.2022.359357.1468>. [In Persian with English Summary].
- Feizi, H., & Moradi, R. (2020). Assessing involved managing factors in gap yield between traditional and ideal saffron cultivating systems in Razavi and South Khorasan Provinces. *Journal of Saffron Research*, 7(2), 283-298. <https://doi.org/10.22077/jsr.2019.2242.1089>. [In Persian with English Summary].
- Goodarzi, S. (2009). The application of statistics in social sciences with the SPSS instructions and interpretation of the outputs. Tuyserkan Islamic Azad University Publications. 434p [In Persian].
- Golkaran Moghadam, S. (2013). Comparison and analysis efficiency of saffron farmers in selected township of Khorasan Razavi Province. *Journal of Agricultural Economics and*

- Development*, 21(4), 79-101. <https://doi.org/10.30490/aead.2014.58719>. [In Persian with English Summary].
- Gresta, F., Lombardo, G.M., & Avola, G. (2009). Saffron stigmas production as affected by soil texture. Proceeding of Third International Symposium on Saffron, 20-23 May, Krokus, Greece. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.850.23>.
- Helalbeyki, Y., Haj Abasi, M.A., & Shirani, H. (2015). Effect of saffron continuous cultivation on some soil physical and chemical properties. *Journal of Saffron Research*, 3(2), 97-107. <https://doi.org/10.22077/jsr.2015.287>. [In Persian with English Summary].
- IMA (Iran Ministry of Agriculture). (2022). Agricultural statistics: Horticultural and greenhouse products in 2021. 323p. [In Persian].
- Karimian Kelishadrokh, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2022). The effects of management practices on soil physical and chemical properties of Esfahan agroecosystems. *Journal of Agroecology*, 13(4), 581-592. <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.38375>. [In Persian with English Summary].
- Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafari, A., & Esmailpour, B. (2014). Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*, 1(2), 120-135. <https://doi.org/10.22077/jsr.2013.439>. [In Persian with English Summary].
- Khozaymehnezhad, H., Farhangfar, H., Behdani, M.A., & Hassanpour, M. (2016). Assessment of saffron farmer's knowledge on the issues associated with irrigation (Case study: Southern Khorasan). *Saffron Agronomy & Technology*, 4(1), 41-50. <https://doi.org/10.22048/jsat.2016.11896>. [In Persian with English Summary].
- Koocheki, A. (2013). Research on production of saffron in Iran: past trend and future prospects. *Saffron Agronomy & Technology*, 1(1), 3-21. <https://doi.org/10.22048/jsat.2013.4808>. [In Persian with English Summary].
- Koocheki, A., Asadi, G., Bagheri Shirvan, M., & Bicharanlou, B. (2018). The possibility of replacing chemical fertilizer with organic manure in saffron cultivation at different levels of corm density under the Northern Khorasan climatic conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 6(2), 125-145. <https://doi.org/10.22048/jsat.2017.75396.1214>. [In Persian with English Summary].
- Kumar, R., Subba, R., Chettri, A., Rai, S.K., Bag, N., Chhetri, D.R., Khare, A., Sharma, L., & Sharma, S.S. (2025). Saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation under organic regime in

- Sikkim Himalaya and prevalence of conditions conducive for corm multiplication. *Scientific Reports*, 15, 25414. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10325-2>
- Maktabdaran, M., Sayyari Zohan, M.H., Jami Alahmadi, M., & Zamani, G. (2019). Comparison of macronutrients concentrations in corm of saffron (*Crocus sativus* L.) in South Khorasan. *Journal of Saffron Research*, 7(1), 145-159. <https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1355.1053>. [In Persian with English Summary].
- Mohtashami, T., Karbasi, A., & Zandi Dareh Gharibi, B. (2016). Economic analysis and comparison of technical efficiency in small and large saffron farms of Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy & Technology*, 4(2), 119-132. <https://doi.org/10.22048/jsat.2016.17362>. [In Persian with English Summary].
- Rahmani Khalili, M., Asadi, M.E., Mohammadi Torkashvand, A., & Pazira, E. (2023). Evaluation the impact of soil texture and climatic parameters on yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in Ghaen and Vamanan regions. *Journal of Saffron Research*, 10(2), 195-214. <https://doi.org/10.22077/jsr.2022.5642.1196>. [In Persian with English Summary].
- Ranjbar, A., Emami, E., Karimi Karouyeh, A., & Khorassani, R. (2015). Determining the most important soil properties affecting the yield of saffron in the Ghayenat area. *Journal of Water and Soil*, 29(3), 673-682. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.31230>. [In Persian with English Summary].
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., & Mollafilabi, A., (2015). Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 3(2), 188-203. <https://doi.org/10.22077/jsr.2015.294>. [In Persian with English Summary].
- Rivandi, M., Ghasemnezhad, A., Ghorbani, K., Hemmati, K., & Abhari, A. (2022). Prediction of saffron flower and stigma yield based on the physical and chemical properties of water and soil using linear multivariate regression models and M5 decision tree. *Journal of Saffron Research*, 9(2), 352-367. <https://doi.org/10.22077/jsr.2021.4399.1162>. [In Persian with English Summary].
- Shaban, M., Mahmoodi, A., & Shawkat Fadai, M. (2014). A survey on technical efficiency, marketing and market structure of saffron crop, Iran. *Saffron Agronomy & Technology*, 1(2), 85-101. <https://doi.org/10.22048/jsat.2014.4819>. [In Persian with English Summary].
- Tashakkori, F., Mohammadi Torkashvand, A., Ahmadi, A., & Esfandiari, M. (2021). Prediction of saffron yield based on soil properties using regression and artificial neural network models in the Vamenan region of the Golestan province. *Saffron Agronomy &*

Technology, 9(2), 159-175. <https://doi.org/10.22048/jsat.2020.240519.1404>. [In Persian with English Summary].

پذیرفته شده نهایی - پیش از انتشار