J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 4, Winter 2024, pp. 49-65. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.14.4.21101

Determining The Minimum Number of Soil Samples for Soil and Plant Interactions Studies (A Case Study in *Salsola* spp. Habitats in Three Dry Regions of Iran)

M. Rostampour[1*] and S. Zare[2]

(Received: 12 August 2023; Accepted: 17 December 2023)

Abstract

A review of research on soil and plant interactions in rangeland and desert ecosystems shows that the number of soil samples are not determined on a scientific basis. The present study, with the aim of using effect size and power analysis to determine the number of soil samples in three plant types of *Salsola* spp. was conducted in three arid and semiarid regions of Shahriar, Zirkouh and Zabol. In addition, 15, 10, and 5 soil samples were collected for each plant type, respectively. Some soil properties, including electrical conductivity, sand content, organic matter content, calcium carbonate equivalent, and saturation percentage, were determined in the laboratory. The number of samples was estimated after the initial sampling based on the calculated effect size (f) and the power of 80 % and before the sampling based on the medium effect size (f = 0.25) and the power of 60 %. The results showed that the power analysis of the three studied sites was 88, 56, and 38 %, respectively. To determine the minimum number of soil samples required to achieve a power of 80 %, at least 20 soil samples are required for Zabol and Zirkouh, and at least 12 soil samples are required for Shahriar. If there is no previous information about the soil properties, more than 50 soil samples must be collected from each plant type for a statistical comparison of three plant types with a medium effect size, a power of 80 %, and a significant level of 0.05.

Keywords: Power analysis, Sample size, Soil properties, Soil and plant interactions, Rangelands.

Background and Objective: In the field of vegetation studies, there are statistical and graphical methods to estimate the number of plots needed for sampling, and their application has been approved in numerous research studies. In a review of research on soil and plant interactions in rangeland and desert ecosystems, it seems that the number of soil samples are not determined based on a scientific basis. Either by autecology or synecology, soil samples were taken from different depths at the first and end points of each transect according to the soil depth by using the random-systematic method (i.e., a total of 6–8 soil samples). The sampling scheme captures all the decisions and information, such as the purpose of the sampling, financial constraints, sampling method, sample size, method(s) of statistical analysis, and accuracy of results (Arzani

1- Department of Rangeland and Watershed Management and Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.

* Corresponding author, Email: rostampour@birjand.ac.ir

and Abedi, 2015). One of the most frequent problems in statistical analysis is determining the appropriate sample size (Rostampour and Eftekhari, 2023). The present study has the aim of using effect size and power analysis to determine the number of soil samples in three plant types in the halophyte-psammophyte ecosystem of the arid and semi-arid regions.

Methods: The present study was conducted on three plant types of *Salsola* spp. in three arid and desert areas of Shahriar, Zirkouh, and Zabol. At Shahriar, Zirkouh and Zabol sites, 15, 10, and 5 soil samples were collected for each plant type, respectively. Then, the soil samples were passed through a 2-mm sieve and some soil properties, including electrical conductivity, organic matter content, sand content, calcium carbonate equivalent and saturation percentage were measured in the laboratory. In general, for estimating the number of samples based on power analysis, there is a need for three factors: effect size, power, and significant levels. In the present study, two methods were used to determine the number of soil samples: 1) the estimation of the optimal sample number after the initial sampling based on the calculated effect size (f) and the power of 80 %, and 2) the minimum number of samples before sampling based on the medium effect size (f = 0.25) and power of 60 %.

Results: The results showed that with an increase in the number of soil samples, the power analysis of the three studied sites was 38, 56, and 88 %, respectively. To determine the minimum number of soil samples required to achieve a power of 80 %, at least 20 soil samples are required for the Zabol and Zirkouh sites, and at least 12 soil samples are required for the Shahriar site. If the effect size is unknown due to the absence of data variance, the numbers of samples required for the sample sizes of small, medium, and large, and to reach a power of 60 % at the level of 0.05, are about 209, 35, and 14 samples, respectively. If there is no previous information about the soil properties, for a statistical comparison of three plant types with a medium effect size, a power of 80 %, and a significant level of 0.05, more than 50 soil samples must be collected from each plant type.

Conclusions: As per guideline, a power of 80 % is often considered an acceptable threshold, and studies with a power of less than 50 % should not be usually conducted. Accordingly, only the Shahriar site has a power above 60 %. Therefore, sampling from the Zirkouh and Zabol sites was not adequate for the statistical analysis. If there is no previous information about the soil properties, at least 50 soil samples should be collected from each plant type to compare the statistical significance of the three plant types with a medium effect size (F = 0.25) and a significant level of 0.05.

References:

1. Arzani, H., Abedi, M., 2015. Rangeland Assessment: Vegetation Measurement, University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian)
2. Rostampour, M., Eftekhari, A., 2023. Determining the sample size required to compare vegetation and soil characteristics in two independent groups using effect size in steppe rangelands of South Khorasan. Journal of Rangeland 16(4), 712–728. (In Persian with English abstract)

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲ / صفحات ۶۵-۴۹ مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.14.4.21101 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تعیین حداقل تعداد نمونه خاک در پژوهش‌های روابط خاک و گیاه (پژوهش موردی رویشگاه علف شور (*Salsola* spp.) در سه منطقه خشک ایران)

مسلم رستم‌پور[1*] و سلمان زارع[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۶)

چکیده

با مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در روابط خاک و گیاه در اکوسیستم‌های مرتعی و بیابانی کشور، به‌نظر می‌رسد تعداد نمونه خاک بر اساس مبنای علمی تعیین نمی‌شود. پژوهش حاضر با هدف کاربرد روش اندازه اثر و آنالیز توان در تعیین تعداد نمونه خاک در سه تیپ گیاهی واقع در رویشگاه علف شور (*Salsola* spp.) در سه منطقه خشک شهرستان‌های شهریار، زیرکوه و زابل انجام شد و به‌ترتیب تعداد ۱۵، ۱۰ و ۵ نمونه خاک در هر تیپ گیاهی برداشت شد. برخی از ویژگی‌های خاک شامل رسانایی الکتریکی، درصد شن، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل (CCE) و رطوبت اشباع در آزمایشگاه تعیین شد. تعداد نمونه لازم، پس از نمونه‌برداری اولیه براساس اندازه اثر محاسباتی (f) و توان ۸۰ درصد (Power=۰/۸۰) و پیش از نمونه‌برداری براساس اندازه اثر متوسط (f:۰/۲۵) و توان ۶۰ درصد (Power=۰/۶۰) برآورد شد. نتایج نشان داد توان آزمون تجزیه واریانس در سه سایت مورد بررسی به‌طور میانگین به‌ترتیب برابر ۸۸، ۵۶ و ۳۸ درصد بوده است. به‌منظور تعیین حداقل تعداد نمونه لازم، برای رسیدن به توان ۸۰ درصد، برای زابل و زیرکوه حداقل ۲۰ نمونه و برای شهریار حداقل ۱۲ نمونه خاک لازم است. اگر هیچ‌گونه دانسته‌های پیشین از ویژگی‌های خاک وجود نداشته باشد، برای مقایسه آماری ۳ تیپ گیاهی با اندازه اثر متوسط و سطح معنی‌داری ۰/۰۵، می‌بایست بیش‌تر از ۵۰ نمونه خاک از هر تیپ گیاهی برداشت شود که به توان ۸۰ درصد برسد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز توان، تعداد نمونه، ویژگی‌های خاک، روابط خاک و گیاه، مراتع.

مقدمه

بررسی روابط خاک و گیاه از جنبه آت کولوژی و سین اکولوژی همواره یکی از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران علوم کشاورزی و منابع طبیعی است (Jafari and Rostampour, 2019). یکی از پیشنیازهای مهم تحلیل‌های آماری، برآورد دقیق از حجم نمونه مورد نیاز است. در زمینه پژوهش‌های پوشش گیاهی، روش‌های آماری (مانند روابط کوکران) و ترسیمی برای برآورد تعداد پلات لازم برای نمونه‌برداری وجود دارد

۱- گروه مرتع و آبخیزداری و گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rostampour@birjand.ac.ir

(Moghaddam, 2008) و کاربرد آن‌ها در پژوهش‌های متعددی بررسی و تأیید شده است (Krebs, 2014; Rostampour and Saghari, 2023). با مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان دریافت که بسته به اقلیم، تغییرات پوشش گیاهی، دقت مدنظر، هدف، بودجه و نیروی انسانی متخصص، تعداد نمونه متفاوت است (Arzani and Abedi, 2015; Bonham, 2013).

واحد ارزیابی پوشش گیاهی و خاک در اکوسیستم‌های مرتعی، تیپ گیاهی است (Arzani and Abedi, 2015). از جنبه اجرایی، در پژوهش‌های پوشش گیاهی مراتع، در هر تیپ گیاهی معمولاً ۳ تا ۴ ترانسکت با طول‌های متفاوت (۵۰ تا ۲۵۰ متر) و در هر ترانسکت بین ۱۰ تا ۲۰ پلات نمونه‌برداری می‌شود (جمعاً بین ۳۰ تا ۸۰ پلات) (Arzani, 2009; Research Institute of Forests and Rangelands, 2020). در پژوهش‌های علوم مرتع، تعداد پلات براساس داده‌های اولیه و با استفاده از روابط آماری تعیین می‌شود و به دلیل تغییرات زیاد پوشش گیاهی، معمولاً عددی بیش از ۲۰۰ پلات محاسبه می‌گردد (Rostampour and Eftekhari, 2023). اگرچه دقت طرح‌های آزمایشی با افزایش تعداد افزایش می‌یابد اما باید به این نکته توجه داشت که اگر تعداد پلات کم باشد، نمی‌تواند نماینده خوبی از کل واحد نمونه‌برداری باشد و اگر تعداد پلات زیاد باشد، به علت کمبود امکانات و زمان و خستگی کارشناس، برآورد پارامترهای مورد اندازه‌گیری نیز با خطا مواجه می‌گردد (Imani et al., 2021). اندازه نمونه بزرگ لزوماً مناسب‌ترین اندازه نیست (Campelo and Takahashi, 2019)، چه بسا افزایش بدون هدف تعداد نمونه، به دلایلی که ذکر شد، به آزمون‌های آماری اجازه می‌دهد تا حتی تفاوت‌های کوچک را نیز معنی‌داری تشخیص دهند (Campelo and Wanner, 2020). از این‌رو تعداد نمونه باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که بتواند گویای کل واحد نمونه‌برداری باشد (Arzani and Abedi, 2015).

در پژوهش‌های خاکشناسی مراتع، برای افزایش دقت نمونه‌برداری، تهیه طرح نمونه‌برداری شامل تعیین هدف نمونه‌برداری، تعداد نمونه، مکان نمونه‌برداری، روش(های) تجزیه و تحلیل آماری، محدودیت‌های مالی و پیش‌بینی هزینه‌های عملیاتی و اعتبار نتایج جزو موارد ضروری است (Burridge et al., 2020; De Gruijter, 2002). با مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در مورد روابط خاک و گیاه در اکوسیستم‌های مرتعی و بیابانی کشور، به‌نظر می‌رسد تعداد نمونه خاک بر اساس مبنای علمی تعیین نمی‌شود و چه در پژوهش‌های آت اکولوژی و چه در پژوهش‌های سین اکولوژی، در ابتدا و انتهای هر ترانسکت به‌صورت سیستماتیک یا تصادفی-سیستماتیک یک نمونه از اعماق مختلف (تا عمق ریشه‌دوانی یا به تفکیک افق‌های خاک) برداشته می‌شود (جمعاً بین ۶ تا ۸ نمونه) (Jafari and Rostampour, 2019). در پژوهش‌های سایر اکوسیستم‌های طبیعی نیز روش و مبنای علمی خاصی مشاهده نشد. به‌عنوان نمونه، روستایی و همکاران (Rostayee et al., 2019) برای مقایسه شاخص کیفیت خاک در پوشش‌های مختلف زمین‌های جنگلی، در هر یک از توده‌ها، در طول ۴ ترانسکت خطی ۲۰۰ متری، ۴ نمونه خاک (جمعاً ۱۶ نمونه) برداشت کردند. همچنین Aghababaie et al. (2018) برای ارزیابی کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های نیمه‌استپی، با استقرار ۳ ترانسکت و در طول هر ترانسکت ۵ نمونه خاک برداشت کردند (جمعاً ۱۵ نمونه). Kimble et al. (2000) برای ارزیابی کربن آلی خاک بسته به قطر نوک سرمته بین ۱۵ تا ۳۰ نمونه پیشنهاد کردند. Vanatta (2000) به منظور بررسی آلودگی خاک در مناطق صنعتی، برای نمونه‌برداری از خاک رویین، تعداد ۱۵ تا ۲۰ و برای نمونه‌برداری خاک زیرین بین ۶ تا ۸ نمونه پیشنهاد کردند. Ravichandra (2010) برای بررسی نماتدهای خاک توصیه می‌کند بسته به وسعت منطقه مورد بررسی، برای کم‌تر از ۵۰۰ مترمربع، ۵۰۰ مترمربع تا ۰/۵ هکتار و ۰/۵ هکتار تا ۲/۵ هکتار، به‌ترتیب ۱۰-۸، ۳۵-۲۵ و ۶۰-۵۰ نمونه خاک لازم است. Morandage et al. (2019) برای بررسی ریشه گراس‌ها از معیار ۱۰ درصد خطای معیار نسبی (RSE) از میانگین برای تعیین تعداد خاک‌رخ استفاده کرد و نهایتاً تعداد ۱۰ تا ۵۰ خاک‌رخ را

پیشنهاد کردند. در پژوهش‌های خاکشناسی، لزوماً اندازه نمونه خاک[1]، تعداد نمونه نیست، بلکه بیان‌گر حجم خاک نمونه‌برداری‌شده نیز هست. به‌عنوان مثال، Morita and Akao (2021) برای بررسی تنوع میکروبی خاک، برداشت حداقل ۱۰ گرم خاک را توصیه کردند.

در پژوهش‌های علوم زیستی (پزشکی، اپیدمیولوژی، دامی و گیاهی) برای تعیین تعداد نمونه از روابط چندگانه کوکران، جدول مورگان، اندازه اثر و آنالیز توان استفاده می‌کنند (Baker et al., 2021; Gravetter et al., 2020; Jenkins and Quintana-Ascencio, 2020; Kers and Saccenti, 2022; Krebs, 2014; Serdar et al., 2021). کاربرد اندازه اثر و آنالیز توان در برخی از پژوهش‌های علوم پوشش گیاهی و مرتع نیز تأیید شده است (Aho, 2013; Mousaei Sanjerehei, 2021; Rostampour and Eftekhari, 2023). با توجه به اهمیت تعیین تعداد نمونه و تأثیرگذاری آن بر نتیجه نهایی طرح‌های آزمایش‌های منابع طبیعی و به دلیل عدم وجود روش آماری خاص برای تعیین تعداد نمونه خاک، پژوهش حاضر کاربرد روش اندازه اثر و آنالیز توان را در تعیین تعداد نمونه خاک در سه تیپ گیاهی در خاک‌های شور-شنی مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک سه منطقه کشور بررسی می‌کند. در نهایت، یافته‌های این پژوهش حداقل تعداد نمونه لازم برای بررسی‌های روابط خاک و گیاه در اکوسیستم‌های جوامع گیاهی شورپسند-شن دوست مناطق خشک و بیابانی کشور را پیشنهاد می‌کند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سه تیپ گیاهی واقع در رویشگاه علف شور (*Salsola* spp.) در سه منطقه خشک شهرستان‌های شهریار (استان تهران)، زیرکوه (استان خراسان جنوبی) و زابل (استان سیستان و بلوچستان) انجام شد (جدول ۱). در هر تیپ گیاهی، یک منطقه معرف انتخاب شد و در هر منطقه معرف، ۵ ترانسکت ۱۵۰ متری مستقر شد. ترانسکت‌ها به‌صورت موازی و با فاصله ۲۰۰ متری از یکدیگر مستقر شدند. از آنجایی که هدف اولیه طرح، بررسی اثر گونه گیاهی بر خاک زیراشکوب بوده است، در کنار نمونه‌برداری از پوشش گیاهی، در سایت‌های شهریار، زیرکوه و زابل، در هر ترانسکت، به‌ترتیب، ۳، ۲ و ۱ نمونه خاک به‌طور تصادفی از زیر تاج پوشش گیاه برداشت شد. بنابراین، اندازه نمونه اولیه خاک در سایت‌های مطالعاتی با در نظر گرفتن تعداد ۱۵، ۱۰ و ۵ نمونه خاک در هر تیپ گیاهی، جمعاً به‌ترتیب ۴۵، ۳۰ و ۱۵ نمونه شد. نمونه‌های خاک پس از آماده‌سازی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های خاک شامل رسانایی الکتریکی در عصاره اشباع با استفاده از رسانایی‌سنج، درصد شن به روش هیدرومتری بایکاس، میزان ماده آلی (OM) به روش والکلی و بلاک، میزان کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون و رطوبت اشباع خاک به روش وزنی (Azariyan moghadam et al., 2022; Rostampour, 2021; Rostampour, 2022; Zare et al., 2011) در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه‌های بیرجند و تهران تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در پژوهش حاضر، از دو روش برای تعیین تعداد نمونه خاک استفاده شد:

۱. برآورد تعداد نمونه بهینه پس از نمونه‌برداری اولیه براساس اندازه اثر محاسباتی (f) و توان ۸۰ درصد (Power=۰/۸۰)

۲. برآورد حداقل تعداد نمونه پیش از نمونه‌برداری براساس اندازه اثر متوسط (f:۰/۲۵) و توان ۶۰ درصد (Power=۰/۶۰)

اندازه اثر (f)، کم‌ترین میزان اختلاف بین گروه‌های مورد آزمون است که از نظر یک خاک‌شناس یا اکولوژیست اهمیت داشته و پژوهشگر علاقمند به کشف آن است. توان آزمون، در واقع β - ۱ و β احتمال ارتکاب خطای نوع II است. خطای نوع II، احتمال شکست در رد فرض صفر است درصورتی‌که غلط باشد. میزان حد قابل قبول خطای نوع II معمولاً ۰/۲۰ و کم‌تر است، بنابراین توان آزمون قابل قبول در حدود ۰/۸۰ و بیش‌تر

1. Soil sample size

جدول ۱. ویژگی‌های سایت‌های مورد بررسی

Table 1. Characteristics of the studied sites

Site سایت	Latitude عرض جغرافیایی	Longitude طول جغرافیایی	Elevation ارتفاع از سطح دریا (متر)	Rainfall (mm) بارش (میلی‌متر)	Slope شیب (درصد)	Soil texture بافت خاک	Vegetation type تیپ گیاهی
Zabol زابل	31° 01' 51"	61° 29' 42"	480	45.3	2.5	Sandy loam لوم شنی	*1. Tamarix aphylla – Salsola kali* *2. Haloxylon ammodendron– Salsola tomentosa* *3. Salsola tomentosa – Salsola kali*
Zirkouh زیرکوه	34° 02' 38"	60° 16' 16"	650	156	1.36	Sand شن	*1. Ammodendron persicum– Salsola richteri* *2. Salsola richteri – Stipagrostis pennata* *3. Salsola richteri– Ammothamnus lemnanii*
Shahriar شهریار	35° 35' 45"	50° 44' 03"	1150	241.1	3.10	Sandy loam لوم شنی	*1. Tamarix ramoffisima – Salsola kali* *2. Zygophyllum eurypterum – Salsola kali* *3. Phragmites australis – Salsola kali*

خواهد بود. به‌طور کلی برای برآورد تعداد نمونه براساس آنالیز توان، نیاز به سه آماره اندازه اثر (کوچک، متوسط و بزرگ)، توان مد نظر (۶۰ و ۸۰ درصد) و سطح معنی‌داری (۰/۰۱ و ۰/۰۵) است. پس از ثبت داده‌های ویژگی‌های خاک، ابتدا نرمال‌بودن و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک و لیون بررسی شد. به دلیل تأیید شرایط پارامتریک، از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد. از آنجایی که هدف، مقایسه تیپ‌های گیاهی به لحاظ ویژگی‌های خاک نبود، از آزمون‌های تعقیبی استفاده نشد.

روش اول: به‌منظور محاسبه اندازه اثر، ابتدا، مجموع مربعات تیمار بر مجموع مربعات کل تقسیم شد (رابطه ۱) و پس از محاسبه اتای مربع، اندازه اثر (f) از رابطه (۲) تعیین شد:

$$\eta^2 = \frac{SS_t}{SS_T} \quad (۱)$$

$$f = \sqrt{\frac{\eta^2}{1-\eta^2}} \quad (۲)$$

که در آنها SS_t، مجموع مربعات بین گروه‌ها و SS_T، مجموع مربعات کل است.

پس از محاسبه اندازه اثر، توان آزمون تجزیه واریانس با ۳ گروه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ توسط دستور pwr.anova.test در بسته pwr تعیین شد. در این پژوهش، توان محاسباتی برای برآورد کفایت نمونه‌برداری استفاده شد. تعداد نمونه بهینه بر اساس توان ۸۰ درصد برای ۳ گروه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ توسط دستور pwr.anova.test در بسته pwr تعیین شد.

روش دوم: پیش از نمونه‌برداری، در صورت عدم اطلاع از داده‌های خاک، برای تعیین حداقل تعداد نمونه خاک برای رسیدن به توان ۶۰ درصد، براساس اندازه اثر قراردادی کوهن (کوچک: ۰/۱، متوسط ۰/۲۵ و بزرگ: ۰/۴۰) تعداد نمونه از همان دستور pwr.anova.test برآورد شد. با این تفاوت که در تابع فوق، اندازه اثر به‌صورت پیش‌فرض مقادیر ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۴۰ و توان آزمون ۰/۶۰ در نظر گرفته شد.

به‌منظور بررسی اثر تعداد نمونه بر نتیجه آزمون در سایت شهریار، در هر تیپ گیاهی، تعداد ۵ نمونه و ۱۰ نمونه به‌صورت تصادفی (بدون جایگزین) از داده‌های ۱۵ نمونه در هر تیپ انتخاب شد. سپس میانگین ویژگی‌های خاک حاصل از ۵ نمونه و ۱۰ نمونه با استفاده از آزمون *t*–استیودنت با نمونه‌های مستقل مقایسه شد، و اندازه اثر کوهن (d) از رابطه (۳) تعیین شد:

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}} \quad (۳)$$

که در این معادله، $\bar{x}_1$ و $\bar{x}_2$ به‌ترتیب میانگین‌های گروه اول و

جدول ۲. مقادیر میانگین و ضریب تغییرات (CV) ویژگی‌های خاک در سایت‌های مورد بررسی زابل، زیرکوه و شهریار.

Table 2. Mean and coefficient of variation (CV) of soil properties in the studied sites of Zabol, Zirkouh and Shahriar.

Site سایت	Electrical conductivity, EC (dS m^{-1}) رسانایی الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)		Sand (٪) شن (درصد)		Organic matter, OM (٪) ماده آلی (درصد)		Calcium carbonate equivalent, CCE (%) کلسیم کربنات معادل (درصد)		Saturation percentage, SP (٪) رطوبت اشباع (درصد)	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
Zabol زابل	6.71	87.7	52.9	35.4	0.39	50.5	13.1	15.3	37.8	19.9
Zirkouh زیرکوه	0.21	17.0	91.5	3.9	0.24	33.3	13.9	11.4	23.5	7.6
Shahriar شهریار	0.94	108.8	67.6	18.6	0.37	85.0	8.9	34.5	30.8	22.0

دوم، و s_1^2 و s_2^2 به‌ترتیب مقادیر واریانس گروه اول و دوم است. سپس توان آزمون t–استیودنت در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ توسط دستور pwr.t.test در بسته pwr تعیین شد. کلیه محاسبات در محیط R انجام شد (R Core Team, 2020).

نتایج

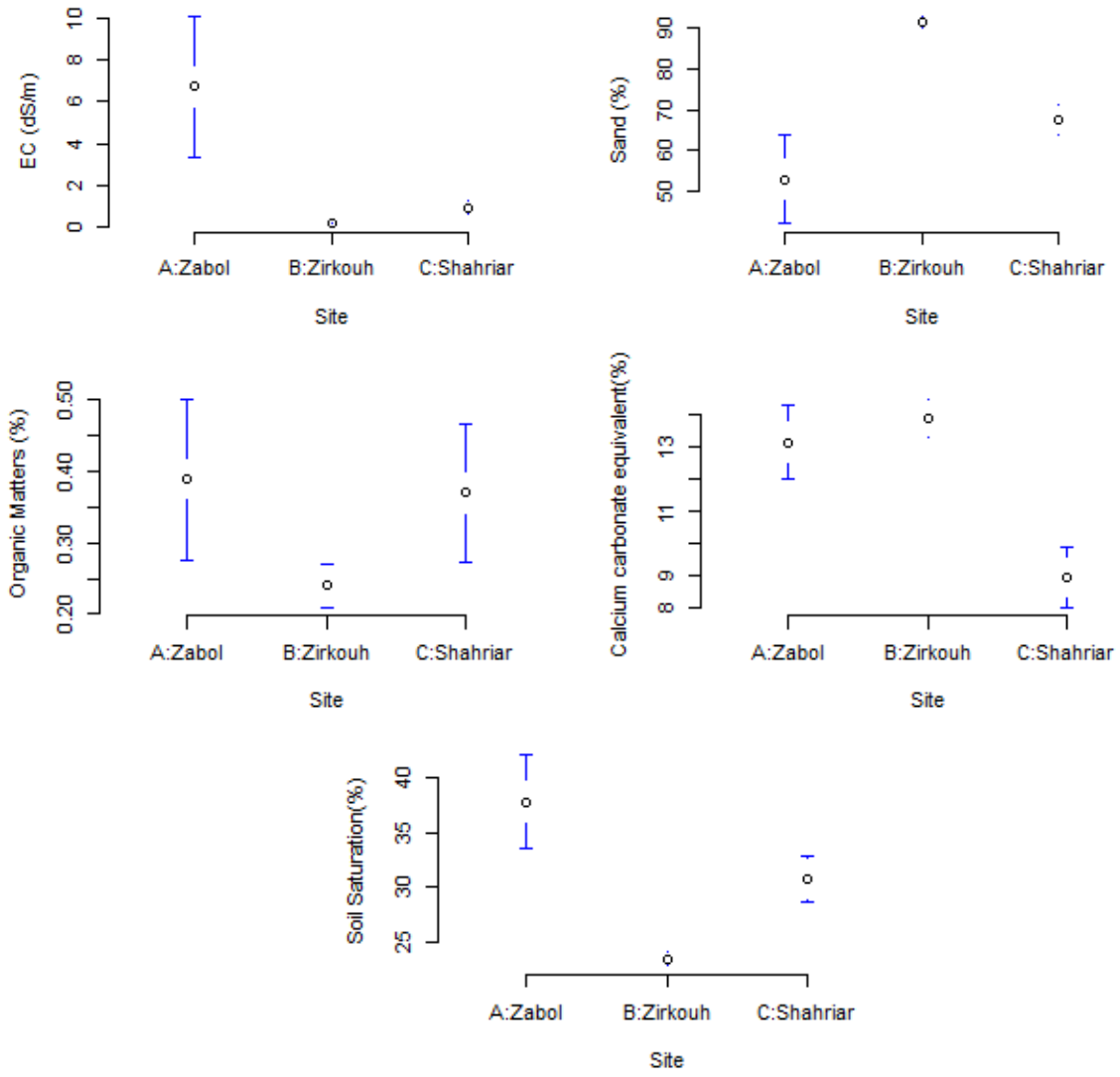
مقادیر میانگین و ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی در سه سایت در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر ضریب تغییرات (CV) به ترتیب مربوط به داده‌های رسانایی الکتریکی (EC) و رطوبت اشباع (SP) خاک است (جدول ۲).

برای مقایسه دقت مقادیر ویژگی‌های خاک در سه سایت مورد بررسی، نمودار حدود اطمینان ۹۵ درصد ترسیم شد (شکل ۱). نتایج نشان می‌دهد که در سایت زابل تمامی ویژگی‌های خاک مورد بررسی دارای بیش‌ترین دامنه حدود اطمینان است؛ از این‌رو کم‌ترین دقت یا بیش‌ترین تغییرات درونی در داده‌های خاک این سایت وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد که رویشگاه جفنه شور (*Salsola richteri*) در سایت زیرکوه، در زمین‌های شنی با کم‌ترین میزان شوری (EC)، ماده آلی (OM) و رطوبت اشباع (SP) قرار دارد. رویشگاه شور بیابانی (*Salsola tomentosa*) در سایت زابل، در زمین‌های شور با SP زیاد و رویشگاه علف شور (*Salsola kali*) در سایت شهریار، در حد وسط دو سایت زیرکوه و زابل قرار دارد.

تعداد نمونه بهینه پس از نمونه‌برداری اولیه براساس اندازه اثر محاسباتی (f) و توان ۸۰ درصد (Power=۰/۸۰)

سایت زابل با ۵ نمونه خاک در هر تیپ گیاهی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تیپ گیاهی تنها بر EC خاک در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است (جدول ۳). از لحاظ سایر ویژگی‌های خاک مورد بررسی تفاوتی بین تیپ‌های گیاهی مشاهده نشد. مقادیر اتای مربع، نشان می‌دهد که به‌طور میانگین حدود ۳۰ درصد واریانس کل ویژگی‌های خاک مورد بررسی توسط تیمار (تیپ‌های گیاهی) توجیه می‌شود. بیش‌ترین تأثیر تیپ‌های گیاهی بر EC (اندازه اثر: ۳/۸۱ و میزان تأثیر: بزرگ) و کم‌ترین تأثیر بر OM خاک (اندازه اثر: ۰/۲۹ و میزان تأثیر: متوسط) است. آزمون تجزیه واریانس انجام‌شده به‌طور میانگین حدود ۳۸ درصد توان دارد. توان آزمون برای مقایسه مقادیر EC بین تیپ‌های گیاهی حدود ۱۰۰ درصد و برای OM خاک حدود ۱۳ درصد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در سطح ۰/۰۵، حدود ۶۲ نمونه در



شکل ۱. نمودار حدود اطمینان ۹۵ درصد ویژگی‌های خاک در سایت‌های مورد بررسی: زابل، زیرکوه و شهریار.

Fig. 1. Plot group means and 95% confidence intervals for the soil properties in the studied sites: Zabol, Zirkouh and Shahriar.

کل سایت و ۲۱ نمونه در هر تیپ گیاهی لازم است. اگر هدف اندازه‌گیری میزان OM خاک به‌تنهایی است، ۴۱ نمونه خاک لازم خواهد بود که اثر تیمار معنی‌دار شود. درحالی‌که برای مقایسه EC به‌تنهایی در بین تیپ‌های گیاهی تنها ۲ نمونه خاک نیز کافی خواهد بود (جدول ۴).

سایت زیرکوه با ۱۰ نمونه خاک در هر تیپ گیاهی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تیپ گیاهی تنها بر درصد شن در سطح ۰/۰۵ و درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) خاک در سطوح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است. از لحاظ EC، OM و SP خاک، تفاوتی بین تیپ‌های گیاهی مشاهده نشد (جدول ۵). آزمون تجزیه واریانس انجام‌شده به‌طور میانگین حدود ۵۶ درصد توان دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در سطح ۰/۰۵، ۶۰ نمونه در کل سایت و ۲۰ نمونه در هر تیپ گیاهی لازم است (جدول ۶).

سایت شهریار با ۱۵ نمونه خاک در هر تیپ گیاهی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تیپ گیاهی بر کلیه

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اثر رویشگاه بر ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سایت زابل.

Table 3. One-way analysis of variance (ANOVA) for the effects of habitat on the studied soil properties in Zabol site.

Properties ویژگی‌ها	Source of variation منبع تغییر	Sum squares مجموع مربعات	df درجه آزادی	Mean squares میانگین مربعات	F	P value معنی‌داری
EC	Between Groups	485.64	2	242.82	87.17	0.000
	Within Groups	33.43	12	2.78		
	Total	519.07	14			
Sand	Between Groups	758.33	2	379.17	1.01	0.39
	Within Groups	4506.33	12	375.53		
	Total	5264.67	14			
OM	Between Groups	0.04	2	0.02	0.49	0.62
	Within Groups	0.53	12	0.04		
	Total	0.58	14			
Lime	Between Groups	13.66	2	6.83	1.75	0.21
	Within Groups	46.82	12	3.90		
	Total	60.48	14			
SP	Between Groups	99.82	2	49.91	0.80	0.47
	Within Groups	748.05	12	62.34		
	Total	847.87	14			

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: ماده آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل و SP: رطوبت اشباع

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

جدول ۴. مقادیر اندازه اثر، توان آزمون و اندازه نمونه مورد نیاز برای آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه با سه تیپ گیاهی در سایت زابل.

Table 4. Effect size, power and sample size needed for one-way analysis of variance with three vegetation types in Zabol site.

Properties ویژگی‌ها	Effect size اندازه اثر			Power توان	Sample size اندازه نمونه	
	Eta-squared اتای مربع	f	Interpretation تفسیر		N تعداد کل	N per group تعداد به‌ازای هر تیپ
EC	0.93	3.81	Large	1	6	2
Sand	0.14	0.41	Large	0.22	63	21
OM	0.08	0.29	Medium	0.13	123	41
CCE	0.22	0.50	Large	0.36	39	13
SP	0.12	0.36	Medium	0.18	78	26
Mean	0.30	1.07	-	0.38	62	21

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: ماده آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل ،SP: رطوبت اشباع و Mean: میانگین

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اثر رویشگاه بر ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سایت زیرکوه.

Table 5. One-way analysis of variance (ANOVA) for the effects of habitat on the studied soil properties in Zirkouh site.

Properties ویژگی‌ها	Source of variation منبع تغییر	Sum squares مجموع مربعات	df درجه آزادی	Mean squares میانگین مربعات	F	P value معنی‌داری
EC	Between Groups	0.004	2	0.002	1.57	0.22
	Within Groups	0.03	27	0.001		
	Total	0.04	29			
Sand	Between Groups	81.87	2	40.93	3.66	0.04
	Within Groups	301.60	27	11.17		
	Total	383.47	29			
OM	Between Groups	0.02	2	0.009	1.40	0.26
	Within Groups	0.17	27	0.006		
	Total	0.19	29			
CCE	Between Groups	29.40	2	14.70	8.57	0.001
	Within Groups	46.30	27	1.71		
	Total	75.70	29			
SP	Between Groups	15.80	2	7.90	2.68	0.09
	Within Groups	79.70	27	2.95		
	Total	95.50	29			

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: مواد آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل و SP: رطوبت اشباع

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

جدول ۶. مقادیر اندازه اثر، توان آزمون و اندازه نمونه مورد نیاز برای آزمون تجزیه واریانس یکطرفه با سه تیپ گیاهی در سایت زیرکوه.

Table 6. Effect size, power and sample size needed for one-way analysis of variance with three vegetation types in Zirkouh site.

Properties ویژگی‌ها	Effect size اندازه اثر			Power توان	Sample size اندازه نمونه	
	Eta-squared اتای مربع	f	Interpretation تفسیر		N تعداد کل	N per group تعداد به‌ازای هر تیپ
EC	0.10	0.34	Medium	0.33	87	29
Sand	0.21	0.52	Large	0.67	39	13
OM	0.09	0.32	Medium	0.30	99	33
Lime	0.39	0.80	Large	0.97	21	7
SP	0.16	0.44	Large	0.53	54	18
Mean	0.19	0.48		0.56	60	20

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: مواد آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل ،SP: رطوبت اشباع و Mean: میانگین

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سطوح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار شده است (جدول ۷). آزمون تجزیه واریانس انجام‌شده به‌طور میانگین حدود ۸۸ درصد توان دارد. توان آزمون برای مقایسه مقادیر EC خاک بین تیپ‌های گیاهی حدود ۹۹ درصد و برای CCE خاک حدود ۷۳ درصد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در سطح ۰/۰۵، ۳۷ نمونه در کل سایت و ۱۲ نمونه در هر تیپ گیاهی لازم است (جدول ۸).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر رویشگاه بر ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سایت شهریار.

Table 7. One-way analysis of variance (ANOVA) for the effects of habitat on the studied soil properties in Shahriar site.

Properties ویژگی‌ها	Source of variation منبع تغییر	Sum squares مجموع مربعات	df درجه آزادی	Mean squares میانگین مربعات	F	P value معنی‌داری
EC	Between Groups	23.06	2	11.53	20.51	0.000
	Within Groups	23.62	42	0.56		
	Total	46.68	44			
Sand	Between Groups	1278.04	2	639.02	4.60	0.016
	Within Groups	5833.07	42	138.88		
	Total	7111.11	44			
OM	Between Groups	1.08	2	0.54	6.76	0.003
	Within Groups	3.35	42	0.08		
	Total	4.43	44			
CCE	Between Groups	70.53	2	35.26	4.18	0.022
	Within Groups	354.62	42	8.44		
	Total	425.15	44			
SP	Between Groups	560.41	2	280.20	7.83	0.001
	Within Groups	1502.49	42	35.77		
	Total	2062.90	44			

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: مواد آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل و SP: رطوبت اشباع

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

جدول ۸. مقادیر اندازه اثر، توان آزمون و اندازه نمونه مورد نیاز برای آزمون تجزیه واریانس با سه تیپ گیاهی در سایت شهریار.

Table 8. Effect size, power and sample size needed for one-way analysis of variance with three vegetation types in Shahriar site.

Properties ویژگی‌ها	Effect size اندازه اثر			Power توان	Sample size اندازه نمونه	
	Eta-squared اتای مربع	f	Interpretation تفسیر		N تعداد کل	N per group تعداد به‌ازای هر تیپ
EC	0.49	0.99	Large	0.99	15	5
Sand	0.18	0.47	Large	0.78	48	16
OM	0.24	0.57	Large	0.92	36	12
CCE	0.16	0.44	Large	0.73	54	18
SP	0.27	0.61	Large	0.95	30	10
Mean	0.27	0.62		0.88	37	12

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: مواد آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل ،SP: رطوبت اشباع و Mean: میانگین

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

تأثیر تعداد نمونه بر نتیجه آزمون

نتیجه آزمون *t*-استیودنت با نمونه‌های مستقل نشان می‌دهد که میانگین ویژگی‌های خاک حاصل از ۵ نمونه با ۱۰ نمونه در سایت شهریار تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با یکدیگر ندارند (جدول ۹). از این‌رو افزایش تعداد نمونه، تأثیری بر نتیجه آزمون نخواهد داشت و حداقل ۱۰ نمونه برای هر تیپ گیاهی، توان اندکی برای نشان دادن تفاوت آماری معنی‌دار بین تیپ‌های گیاهی دارد.

جدول ۹. نتایج آزمون *t*–استیودنت، مقادیر اندازه اثر و توان آزمون اثر تعداد نمونه بر ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سایت شهریار.

Table 9. The results of t-student test, effect size and power for the effects of sample size on the studied soil properties in Shahriar site.

Properties ویژگی‌ها	*t*	P value معنی‌داری	Cohen's d اندازه اثر کوهن	Power توان
EC	0.22	0.83	0.18	0.06
Sand	-0.73	0.50	-0.59	0.13
OM	0.43	0.69	0.35	0.08
CCE	0.33	0.76	0.27	0.07
SP	0.72	0.51	0.58	0.13

EC: رسانایی الکتریکی، Sand: شن، OM: مواد آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل و SP: رطوبت اشباع

EC: Electrical conductivity, OM: Organic matter, CCE: Calcium carbonate equivalent and SP: Saturation percentage

جدول ۱۰. اندازه نمونه پیشنهادی برای تجزیه واریانس یک‌طرفه با ۳، ۴، ۵ و ۶ گروه (اندازه اثر: کوچک، متوسط و بزرگ، توان آزمون: ۶۰ درصد و ۸۰ درصد و α: ۰/۰۵).

Table 10. Proposed sample sizes for one-way ANOVA with 3, 4, 5 and 6 groups (effect size: small, medium and large, power: 0.60 and 0.80, alpha = 0.05).

Number of groups تعداد گروه‌ها	Small کوچک		Medium متوسط		Large بزرگ	
	Power: 0.60	Power: 0.80	Power: 0.60	Power: 0.80	Power: 0.60	Power: 0.80
3	208	322	34	53	14	22
4	180	273	30	45	12	18
5	160	240	26	39	11	16
6	144	215	24	35	10	14

حداقل تعداد نمونه لازم پیش از نمونه‌برداری براساس اندازه اثر متوسط (f: ۰/۲۵) و توان ۶۰ درصد (power= ۰/۶۰)

تعداد نمونه محاسبه‌شده در جدول (۸)، پیش از نمونه‌برداری اولیه بوده است که اندازه اثر از روی واریانس درون گروه‌ها و بین گروه‌ها محاسبه شده است. درصورتی‌که پژوهشگر قصد داشته باشد پیش از نمونه‌برداری تعداد نمونه لازم را تعیین کند، در صورت عدم اطلاع از اندازه اثر به دلیل عدم وجود داده‌های واریانس، تعداد نمونه لازم برای اندازه اثر کوچک، متوسط و بزرگ به منظور رسیدن به توان ۶۰ درصد در سطح ۰/۰۵ به‌ترتیب حدود ۲۰۹، ۳۵ و ۱۴ است. برای توان ۶۰ و ۸۰ درصد در پژوهش‌های با سه تیپ گیاهی و بیش‌تر، تعداد نمونه لازم در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

اگر هیچ‌گونه دانسته‌های پیشین از ویژگی‌های خاک وجود نداشته باشد، برای مقایسه آماری سه تیپ گیاهی با اندازه اثر متوسط (f=۰/۲۵) و سطح معنی‌داری ۰/۰۵، می‌بایست بیش از ۵۰ نمونه خاک از هر تیپ گیاهی برداشت شود که به توان ۸۰ درصد برسد. از این‌رو، عدد مبنایی ۳۰ نمونه (در علم آمار)، توانی برابر با ۵۴ درصد خواهد داشت. اگر دقت کم‌تری برای طرح آزمایش یا پژوهش مد نظر باشد (توان ۶۰ درصد)، حداقل ۳۵ نمونه در هر تیپ گیاهی لازم خواهد بود (جدول ۱۱).

بحث

در پژوهش حاضر، تعداد نمونه لازم برای رسیدن به توان ۸۰ درصد آزمون برای مقایسه اثر تیپ گیاهی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سه سایت در مناطق خشک بررسی شد. نتایج نشان داد توان آزمون تجزیه واریانس

جدول ۱۱. توان آزمون برای اندازه نمونه‌های مختلف برای تجزیه واریانس یک‌طرفه با سه گروه (اندازه اثر: متوسط و α: ۰/۰۵).

Table 11. Power for different sample sizes for one-way ANOVA with three groups (effect size: medium and alpha = 0.05).

Number of groups تعداد گروه‌ها	N اندازه نمونه کل	N per group اندازه نمونه به‌ازای هر گروه	f	Alpha سطح معنی‌داری	Power توان آزمون
3	15	5	0.25	0.05	0.11
3	30	10	0.25	0.05	0.19
3	45	15	0.25	0.05	0.28
3	60	20	0.25	0.05	0.37
3	75	25	0.25	0.05	0.46
3	90	30	0.25	0.05	0.54
3	105	35	0.25	0.05	0.61
3	120	40	0.25	0.05	0.67
3	135	45	0.25	0.05	0.73
3	150	50	0.25	0.05	0.78
3	165	55	0.25	0.05	0.82

یک‌طرفه در سه سایت مورد بررسی به‌طور میانگین به‌ترتیب برابر ۳۸، ۵۶ و ۸۸ درصد بوده است. اگرچه در حوزه علوم کشاورزی حداقل توان آزمون قابل قبول برای طرح آزمایش‌ها مشخص نشده است، اما به‌صورت قراردادی حداقل توان ۶۰ و حداکثر ۸۰ درصد برای آزمون‌های آماری قابل قبول است. Gent et al. (2018) پیشنهاد کردند بر اساس قرارداد، توان ۸۰ اغلب یک آستانه قابل قبول در نظر گرفته می‌شود و پژوهش‌های با توان کم‌تر از ۵۰ درصد معمولاً نباید انجام شود. بر این اساس، تنها سایت شهریار، توانی بیش‌تر از ۶۰ درصد دارد. از این‌رو نمونه‌برداری در سایت‌های زیرکوه و زابل، توان لازم برای تجزیه آماری را ندارد.

نتایج نشان داد به علت انحراف معیار کم ویژگی‌های خاک در سایت شهریار (میانگین برابر ۴/۷۵)، حدود ۱۲ نمونه خاک برای هر تیپ لازم است. در سایت‌های زابل و زیرکوه با میزان انحراف معیار بیش‌تر (به‌طور میانگین به‌ترتیب برابر ۶/۸۷ و ۱۴/۶۴)، تعداد ۲۰ نمونه در هر تیپ گیاهی لازم است. اگر دانسته‌هایی از میزان انحراف معیار ویژگی‌های خاک در دسترس نیست، برای به‌دست آوردن حداقل اختلاف بین تیپ‌های گیاهی، حدود ۵۰ نمونه خاک لازم است. Mannetje and Jones (2001) اذعان کردند تعداد نمونه یا تعداد خاک‌رخ مورد نیاز بستگی به غیریکنواختی خاک، میزان دقت مورد نظر و عنصر مورد اندازه‌گیری دارد. آن‌ها گزارش کردند برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در علف‌زارهای هلند، حداقل ۵۰ تا ۶۰ نمونه خاک لازم بوده و برای اندازه‌گیری تراکم و زیتوده جمعیت میکروبی خاک بیش از ۲۰ نمونه خاک در هر سایت مورد نیاز است.

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های آت اکولوژی است و به بررسی اثر جنس علف شور (*Salsola* spp.) بر خاک زیراشکوب آن پرداخت. پژوهش‌های آت اکولوژی بر روی یک گونه و پژوهش‌های سین اکولوژی بر روی اجتماعی از گونه‌های مختلف تمرکز دارد. از این‌رو منطقی است که تعداد نمونه خاک در پژوهش‌های سین اکولوژی می‌بایست بیش‌تر از آت اکولوژی باشد. اما با مروری بر برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در کشور مشاهده می‌شود که میانگین تعداد نمونه خاک در بررسی‌های خاک و گیاه در جوامع گیاهی حدود ۱۰ نمونه و برای بررسی‌های آت اکولوژی حدود ۳۰ نمونه بوده است. داده‌های جدول (۱۲) از حداقل ۲۰ پژوهش انجام‌شده در مناطق خشک و بیابانی کشور استخراج شده است.

پژوهشگرانی مانند De Gruijter (2002) فرمول کوکران را برای تعیین تعداد نمونه مورد تأکید قرار دادند. عیب اساسی که

جدول ۱۲. اندازه نمونه پژوهش‌های خاک‌شناسی برای اهداف مختلف در اکولوژی مرتع.

Table 12. Sample size of soil studies for different purposes in rangeland ecology.

Study type نوع پژوهش	Sample size اندازه نمونه		
	Min حداقل	Max حداکثر	Mean میانگین
Soil-plant relationships (Synecology) روابط خاک و گیاه (سین اکولوژی)	8	16	10
Carbon sequestration جذب کربن جو در خاک	15	30	20
Nutrition elements analysis تجزیه عناصر غذایی	25	40	30
Autecology آت اکولوژی	12	48	30
Soil seed bank بانک بذر خاک	10	20	15
Plant distribution modelling مدل‌سازی توزیع گونه‌های گیاهی	6	12	8

فرمول کوکران دارد این است که اولاً این فرمول برای پژوهش-های علوم انسانی پیشنهاد شده است، ثانیاً نرمال‌بودن داده‌ها یکی از شروط اساسی استفاده از این فرمول است (Rostampour and Saghari, 2023)، که به علت ناهمگنی مراتع معمولاً داده‌های محیطی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. اگرچه اندازه اثر کوهن که در پژوهش حاضر از آن استفاده شد نیز مربوط به علوم انسانی است، اما برای پژوهش‌های علوم زیستی تغییراتی روی آن داده شده است (Anderson et al., 2017; Lakens, 2013).

مسلماً هزینه و دشواری نمونه‌برداری در مناطق بیابانی بر تعداد نمونه خاک تأثیرگذار است، اما نبایستی به خاطر هزینه زیاد، از دقت نتایج پژوهش غافل شد. در موارد فوق، برای رسیدن به توان ۸۰ درصد (۲۰ درصد احتمال ارتکاب خطای نوع II)، تعداد نمونه لازم محاسبه شده بود. برای توان ۶۰ درصد (۴۰ درصد احتمال ارتکاب خطای نوع II) درصورتی‌که میانگین تفاوت مدنظر باشد (اندازه اثر: متوسط) برای اندازه-گیری ویژگی‌های خاک در بین ۳، ۴، ۵ و ۶ تیپ گیاهی به‌ترتیب حداقل ۳۴، ۳۰، ۲۶ و ۲۴ نمونه خاک لازم خواهد بود. در پژوهش‌های علوم مرتع و شرح خدمات طرح‌های پایش مراتع کشور (Arzani, 2009; Research Institute of Forests and Rangelands, 2020)، اشاره می‌شود که در هر تیپ گیاهی حداقل ۳ ترانسکت مستقر شود و در ابتدا و انتهای هر ترانسکت نیز یک نمونه خاک برداشت شود (جمعاً ۶ نمونه). در صورتی که این تعداد پیشنهادشده، با هیچ کدام از معیارهای مورد استفاده در این پژوهش (اندازه اثر و آنالیز توان) هم‌خوانی ندارد.

نکته‌ای که باید تاکید شود این است که این تعداد نمونه، صرفاً در پژوهش‌های روابط خاک و گیاه و با هدف بررسی اثر پوشش گیاهی بر خاک (مقایسه سه تیپ گیاهی) در طرح کاملاً تصادفی (CRD) به روش تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) تعیین شده است. اگر بررسی روابط کمّی بین داده‌های پوشش گیاهی و خاک توسط آزمون‌های کلاسیک مانند همبستگی و رگرسیون مدنظر باشد، تعداد نمونه با توابع pwr.r.test و pwr.f2.test محاسبه شده و احتمالاً عدد محاسباتی نیز بزرگ‌تر

از آزمون تجزیه واریانس باشد. امروزه بین اکولوژیست‌های گیاهی، روش‌های آماری چندمتغیره (رسته‌بندی مستقیم و غیر-مستقیم) مانند CCA و RDA طرفداران زیادی پیدا کرده است (Jafari and Rostampour, 2019; Krebs, 2014; Legendre and Legendre, 2012; Wildi, 2017). در این آزمون‌ها، تعداد نمونه خاک در ماتریس عوامل محیطی می‌بایست با تعداد پلات پوشش گیاهی روزمینی در ماتریس گیاهی، یکسان باشد (Legendre and Legendre, 2012; Wildi, 2017). از این‌رو در این‌گونه پژوهش‌ها، تعداد نمونه خاک خیلی بیش‌تر از آزمون-های تک‌متغیره (مانند تجزیه واریانس) و چندمتغیره کلاسیک (مانند رگرسیون چندگانه) خواهد بود.

با مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در روابط خاک و گیاه می‌توان پی برد عموماً روش نمونه‌برداری به‌صورت سیستماتیک (غیرتصادفی) است، مانند نمونه‌برداری در ابتدا و انتهای ترانسکت، و الگوهای Z و W. علیرغم آسانی اجرای این روش‌ها و ترسیم ساده‌تر آن‌ها نسبت به روش تصادفی (Mostafa and Ahmad, 2018)، بایستی توجه داشت در بیش‌تر روش‌های آماری که برمبنای نمونه‌گیری شکل گرفته‌اند، فرض بر تصادفی‌بودن نمونه‌ها و مشاهده‌ها است، و نقض این پیش‌فرض، کاربرد آزمون‌های آماری را بی‌اعتبار می‌سازد. همچنین مبنای تمامی آزمون‌های تجزیه واریانس و رگرسیون در پژوهش‌های روابط خاک و گیاه، واریانس نمونه است، هیچ روش نااریبی برای برآورد واریانس از یک نمونه‌برداری سیستماتیک وجود ندارد (Aune-Lundberg and Strand, 2014; Dane and Topp, 2002). از این‌رو روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده بر اساس ویژگی‌های محیطی پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد برای تعیین حداقل تعداد نمونه لازم، برای رسیدن به توان ۸۰ درصد، برای سایت‌های زابل و زیرکوه حداقل ۲۰ نمونه و برای سایت شهریار حداقل ۱۲ نمونه خاک لازم است. اندازه اثر اکثر ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سه سایت، متوسط تا بزرگ بود. در صورت عدم اطلاع از اندازه اثر، برای اندازه اثر متوسط و بزرگ حدود ۵۳ تا ۲۲ نمونه لازم است که آزمون مربوطه به توان ۸۰ درصد برسد. در نهایت برای بررسی خاک رویشگاه مدنظر، تعداد نمونه خاک لازم به شرح زیر است:

- براساس توان داده‌های موجود: ۱۸ نمونه (۳ ترانسکت با ۶ نمونه در هر ترانسکت)
- براساس حداقل توان مطلوب (۶۰ درصد) و اندازه اثر متوسط (۰/۲۵): ۳۵ نمونه (۳ ترانسکت با ۱۲ نمونه در هر ترانسکت)
- پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های سین اکولوژی مانند جامعه-شناسی گیاهی، هزینه و زمان بیش‌تری برای نمونه‌برداری از خاک و آنالیزهای آن در آزمایشگاه درنظر گرفت و قانون سرانگشتی (در هر توده یا تیپ گیاهی، ۳ ترانسکت و در هر ترانسکت ۲ یا ۳ نمونه یا خاک‌رخ) را معیار قرار نداد. پیشنهاد می‌شود بدون آگاهی از داده‌های اولیه خاک (پیش از نمونه-برداری) تعداد نمونه تعیین نشود. به جای آن پیشنهاد می‌شود حداقل ۱۰ نمونه اولیه برداشت شده و پس از تعیین ویژگی‌های مدنظر خاک، تغییرات (واریانس) ویژگی‌ها را بررسی کرده و تعداد نمونه براساس هدف مورد بررسی، تغییرات ویژگی‌های خاک، توان مد نظر، دقت مطلوب و میزان هزینه و امکانات واسنجی شود.

تشکر و سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی، فناوری و نوآوری دانشگاه بیرجند برای حمایت مالی از این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Aghababaie, M., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P., 2018. Comparison vegetation indices and tasseled cap transformation for estimates of soil organic carbon using Landsat-8 OLI images in a semi-steppe rangeland. J. GIS RS for Natur. Res. 9(3), 85–99. (In Persian with English abstract)
2. Aho, K.A., 2013. Foundational and Applied Statistics for Biologists Using R, Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, USA.
3. Anderson, S.F., Kelley, K., Maxwell, S.E., 2017. Sample-size planning for more accurate statistical power: a method adjusting sample effect sizes for publication bias and uncertainty. Psychol. Sci. 28(11), 1547–1562. https://doi.org/10.1177/09567976177237.
4. Arzani, H., 2009. Rangeland Assessment in Different Climate Areas–Iran, Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands of Iran, Tehran, Iran. (In Persian)
5. Arzani, H., Abedi, M., 2015. Rangeland Assessment: Vegetation Measurement, University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian)
6. Aune-Lundberg, L., Strand, G.-H., 2014. Comparison of variance estimation methods for use with two-dimensional systematic sampling of land use/land cover data. Environ. Model. Softw. 61, 87–97. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.001.
7. Azariyan Moghadam, F., Sadeghipour, A., Hojati, S.M., Kooch, Y., 2022. Effect of different land uses on physical, chemical and biological characteristics of soil, Shahriar, Tehran Province. Journal of Rangeland 16(2), 481–496. (In Persian with English abstract)
8. Baker, D.H., Vilidaite, G., Lygo, F.A., Smith, A.K., Flack, T.R., Gouws, A.D., Andrews, T.J., 2021. Power contours: Optimising sample size and precision in experimental psychology and human neuroscience. Psychol. Methods 26(3), 295–314. https://doi.org/10.1037/met0000337.
9. Bonham, C.D., 2013. Measurements for Terrestrial Vegetation, John Wiley and Sons, New York, USA.
10. Burridge, J.D., Black, C.K., Nord, E.A., Postma, J.A., Sidhu, J.S., York, L.M., Lynch, J.P., 2020. An analysis of soil coring strategies to estimate root depth in maize (*Zea mays*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*). Plant Phenomics 3252703. https://doi.org/ 10.34133/2020/3252703.
11. Campelo, F., Takahashi, F., 2019. Sample size estimation for power and accuracy in the experimental comparison of algorithms. J. Heuristics 25(2), 305–338. https://doi.org/10.1007/s10732-018-9396-7.
12. Campelo, F., Wanner, E.F., 2020. Sample size calculations for the experimental comparison of multiple algorithms on multiple problem instances. J Heuristics 26, 851–883. https://doi.org/10.1007/s10732-020-09454-w.
13. De Gruijter, J.J., 2002. Sampling. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA. pp. 45–79.
14. Gent, D.H., Esker, P.D. Kriss, A.B., 2018. Statistical power in plant pathology research. Phytopathology 108(1), 15–22. https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0098-LE.
15. Gravetter, F.J, Wallnau, L.B., Forzano, L-A.B., Witnauer, J.E., 2020. Essentials of Statistics for the Behavioral Sciences. 10th Edition, Wadsworth, Cengage Learning, USA.
16. Imani, J., Ebrahimi, A., Gholinejad, B., Tahmasebi, P., 2021. Comparison of sampling pattern and plot dimensions, to estimate the percentage of crown cover and forage production in plant communities with different distribution patterns (Study area: Choghakhor Rangelands Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran). Iranian Journal of Range and Desert Research 28(4), 640–651. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125254. (In Persian with English abstract)
17. Jafari, M., Rostampour, M., 2019. Soil and Plant Relationships. Volume One: Ecology, Statistics and Analysis. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian)
18. Jenkins, D.G., Quintana-Ascencio, P.F., 2020. A solution to minimum sample size for regressions. PLoS ONE 15(2), e0229345. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229345.
19. Kers, J.G., Saccenti, E., 2022. The power of microbiome studies: some considerations on which alpha and beta metrics to use and how to report results. Front. Microbiol. 12, 796025. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.796025.
20. Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A., 2000. Assessment Methods for Soil Carbon, First ed. CRC Press, Boca Raton, Florida.
21. Krebs, C.J., 2014. Ecological Methodology, Third ed. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc., USA.
22. Lakens, D., 2013. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for *t*-tests and ANOVAs. Front. Psychol. 4, 863. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863.
23. Legendre, P., Legendre, L., 2012. Numerical Ecology, Third ed. Elsevier, Amsterdam.
24. Moghaddam M. R. 2008. Quantitative Plant Ecology, University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian)
25. Morandage, S., Schnepf, A., Leitner, D., Javaux, M., Vereecken, H., Vanderborght, J., 2019. Parameter sensitivity analysis of a root system architecture model based on virtual field sampling. Plant and Soil. 438(1-2), 101–126. https://doi.org/10.1007/s11104-019-03993-3.

26. Morita, H., Akao, S., 2021. The effect of soil sample size, for practical DNA extraction, on soil microbial diversity in different taxonomic ranks. PloS ONE 16(11), e0260121. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260121.
27. Mostafa, S.A., Ahmad, I.A., 2018. Recent developments in systematic sampling: A review. J. Stat. Theory Pract. 12, 290–310. https://doi.org/10.1080/15598608.2017.1353456.
28. Mousaei Sanjerehei, M., 2021. Sample size calculations for vegetation studies. Macedonian Journal of Ecology and Environment 23(2), 85–97. https://doi.org/10.59194/MJEE21232085ms .
29. R Core Team, 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
30. Ravichandra, N.G., 2010. Methods and Techniques in Plant Nematology, PHI Learning, New Delhi, India.
31. Research Institute of Forests and Rangelands, 2020. Rangeland Ecosystems Monitoring in Different Climatic Regions of Iran, Tehran, Iran. (In Persian)
32. Rostayee, F., Kooch, Y., Hosseini, S.M., 2019. Study of soil quality changes in different forests covers. Water and Soil Science (Agricultural Science) 28(4), 169–181. (In Persian with English abstract)
33. Rostampour, M., 2021. Detailed study of the vegetation and agroforestry of Niatak flood spreading area, Zabol. Spatial Sciences Innovators Consulting Engineering Company, Tehran. 99 p. (In Persian)
34. Rostampour, M. 2022. Rangeland ecosystems monitoring in different climatic regions of Iran, South Khorasan Province, Qaen site. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. (In Persian)
35. Rostampour, M., Eftekhari, A., 2023. Determining the sample size required to compare vegetation and soil characteristics in two independent groups using effect size in steppe rangelands of South Khorasan. Journal of Rangeland 16(4), 712–728. (In Persian with English abstract)
36. Rostampour, M., Saghari, M., 2023. Comparison of graphical and statistical methods in determining the number of sampling units in vegetation studies of desert ecosystems of South Khorasan. Journal of Rangeland 17(1), 97–113. (In Persian with English abstract)
37. Serdar, C.C., Cihan, M., Yücel, D., Serdar, M.A., 2021. Sample size, power and effect size revisited: simplified and practical approaches in pre-clinical, clinical and laboratory studies. Biochem. Med. 31(1), 010502. https://doi.org/10.11613/BM.2021.010502.
38. 'tMannetje, L., R. M. Jones, 2001. Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research, Wallingford, UK: CABI Publishing.
39. Vanatta, B., 2000. Guide for Industrial Waste Management, Diane Pub Co. Darby, PA, USA.
40. Wildi, O., 2017. Data Analysis in Vegetation Ecology, Swiss Federal Research Institute WSL, Switzerland.
41. Zare S., Jafari, M., Tavili, A., Abbasi, H.R., Rostampour, M., 2011. Relationship between environmental factors and plant distribution in arid and semiarid area (Case study: Shahriyar Rangelands, Iran). Am.-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 10(1), 97–105.