

**تنوع زیستی قارچ‌های میکوریزی و ارزیابی شرایط بهینه وقوع آن‌ها در خاک برای افزایش عملکرد نیشکر**

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰ ===== بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳ ===== پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

سیم‌ا زنگنه✉: مربی پژوهش بخش تحقیقات رستنی‌ها، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران (simazangeneh@yahoo.com)

مهدی مین‌باشی: استاد پژوهش بخش تحقیقات علف‌های هرز، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

کوروش طاهرخانی: پژوهشگر مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران

**چکیده**

قارچ‌های میکوریزی از موجودات مهم خاک هستند که به رشد و محصول‌دهی بیشتر گیاهان زراعی از جمله نیشکر کمک می‌کنند. برای مشخص شدن شرایط مناسب برای قارچ‌های میکوریزی و در نتیجه افزایش عملکرد نیشکر در مزارع استان خوزستان، تنوع گونه‌ای و تراکم هاگ قارچ‌ها، در مزارع هشت شرکت کشت و صنعت نیشکر مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های ترکیبی خاک، حاصل از ۲۵ نمونه فرعی از هر ۶۴ مزرعه انتخابی به آزمایشگاه منتقل شدند. هاگ‌ها با روش ال‌ک‌تر و سانتریفوژ با محلول ساکارز از خاک جداسازی و جمع‌آوری شدند و برای محاسبه تعیین گونه قارچ‌ها و تراکم هاگ در خاک مورد استفاده قرار گرفتند. سپس عواملی همچون خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، تناوب زراعی، سن راتون و ارقام نیشکر اندازه‌گیری و ثبت گردید و تاثیر آن‌ها بر میزان تراکم هاگ و عملکرد نیشکر، به صورت آماری محاسبه شد. حاصل بررسی میکروسکوپی هاگ‌ها در تحقیق حاضر، ضمن تشخیص ۳۰ گونه قارچ میکوریزی، مشخص نمود که بین میزان تراکم هاگ‌ها در خاک و عملکرد نیشکر ارتباط مستقیم و نزدیکی وجود دارد و بهترین نتیجه در مزارعی با زهکشی مناسب (ماسه کافی)، با pH خنثی تا قدری قلیایی، رطوبت کافی و مقادیر کنترل شده نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دست می‌آید. از سوی دیگر، تناوب زراعی با گیاهانی مانند یونجه و گندم که وابسته به همزیستی میکوریزی هستند یا آیش زمین زراعی و همچنین استفاده از راتون تازه در هر کشت باعث افزایش تراکم هاگ قارچ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر شده است.

**واژه‌های کلیدی:** آیش، استان خوزستان، تناوب زراعی، تراکم هاگ، راتون، ریزوسفر

**Biodiversity of mycorrhizal fungi and evaluation of optimal conditions for their occurrence in soil to increase sugarcane yield**

Received: 10.08.2024 ===== Revised: 24.08.2024 ===== Accepted: 28.08.2024

**Sima Zangeneh**✉: Research Instructor, Department of Botany, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran (simazangeneh@yahoo.com)

**Mehdi Minbashi:** Research Prof., Department of Weed Research, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

**Kourosh Taherkhani:** Researcher of Khuzestan Research and Training Institute for the Development of Sugarcane and Related Industries, Ahvaz, Iran

**Summary**

Mycorrhizal fungi play a crucial role in promoting the growth and yield of agricultural plants, including sugarcane. To evaluate optimal conditions for these fungi and enhance sugarcane yields in Khuzestan Province (Iran), the species and spore density of mycorrhizal fungi were investigated in a research project across eight sugarcane cultivation and industry companies. Combined soil samples were collected from 25 sub-samples of each 64 selected farms and analyzed in the laboratory. The spores were isolated using wet sieving and decanting method followed by sucrose centrifugation used for determination of fungal species and spore density. Meanwhile, factors such as physicochemical properties of the soil, crop rotation and ratoon age were measured and recorded, and their impact on spore density and sugarcane yield was calculated statistically. A direct and intimate correlation was also discovered between the density of spores in the soil and the yield of sugarcane, with the best outcomes found in well-drained fields (adequate sand), a neutral to slightly alkaline pH, sufficient moisture, and controlled levels of nitrogen, phosphorus, and potassium. On the other hand, crop rotation with plants like alfalfa or wheat which are mycorrhizal dependent as well as allowing fields to go fallow, and using fresh ratoon also led to an increase in the density of mycorrhizal fungi spores and sugarcane yield.

**Keywords:** Crop rotation, fallow, Khuzestan Province, ratoon, rhizosphere, spore density

## مقدمه

نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) متعلق به گندمیان (*Poaceae*) از گیاهان زراعی مهم سازگار به شرایط آب و هوایی ایران است که قرن‌ها در مناطق مختلف این سرزمین، از استان خوزستان تا سیستان و بلوچستان و در شمال کشور، در استان مازندران کشت می‌شود. مجموع اراضی قابل کشت استان خوزستان حدود ۷۷۰ هزار هکتار است که از این میزان حدود ۷۰۰ هزار هکتار اختصاص به کشت محصولات زراعی و حدود ۷۰ هزار هکتار اختصاص به محصولات باغی دارد. در حال حاضر، سطح زیر کشت نیشکر در استان خوزستان، بیش از ۹۶ هزار هکتار و در مجموع عملکرد قند نیشکر در کشور، حدود ۶۵ تن در هر هکتار است (بی‌نام، ۱۴۰۱-۱۴۰۰ آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی). برای استحصال بیشترین مقدار محصول از این گیاه استراتژیک، لازم است که میزان آب و مواد غذایی در دسترس آن از جمله نیتروژن و فسفر به شکلی صحیح مدیریت شود؛ به این ترتیب که در زمان رشد رویشی سریع گیاه، آب و مواد لازم به وفور در اختیار گیاه قرار گیرد و در زمان رسیدن نیشکر، از عرضه مقادیر اضافی از این مواد جلوگیری شود تا بیشترین ذخیره‌سازی ساکارز به وقوع بپیوندد (Davani 2014). این کار جز با ساز و کارهای دقیق زیست محیطی گیاه امکان‌پذیر نیست و به کارگیری نادرست انواع کودها و سموم کشاورزی به زمین، نتیجه‌ای جز برهم خوردن نظم طبیعت و کاهش کمیت و کیفیت محصولات نخواهد داشت. از آنجا که نیشکر گیاهی است که می‌تواند با قارچ‌های میکوریزی ایجاد همزیستی نماید، روش‌های مدیریت خاک و افزایش بیومس همزیست موجود در خاک بسیار مقرون به صرفه بوده و می‌تواند ضمن حفاظت خاک از انواع عوامل ناخواسته طبیعی و غیرطبیعی، باعث افزایش محصول گردد. قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AM)، متعلق به شاخه *Glomeromycota*، عامل ایجاد همزیستی با ریشه‌های بیش از ۸۰٪ گونه‌های گیاهی هستند (Smith & Read 1997). در این همزیستی، قارچ از نظر تغذیه و تولید مثل به گیاه میزبان وابسته است و در مقابل آب، فسفر و مواد معدنی ضروری را از خاک به گیاه میزبان می‌رساند. وظیفه اصلی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار انتقال فسفر است، به طوری که تخمین زده شده که ریشه‌های بیرونی این قارچ‌ها ۸۰٪ نیاز فسفر گیاه را تامین می‌کنند (Matamoros et al. 1999). مشخص شده است که گیاهان متعلق به گندمیان از جمله نیشکر قادر به ایجاد همزیستی با قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار هستند (Powell 1984). از سوی دیگر، تناوب کشت نیشکر با لگوم‌ها،

به حاصلخیزی خاک کمک می‌کند و مانع فرسایش آن و در نتیجه باعث افزایش تولید این محصول می‌شود (Ambrosano et al. 2010). تولید نیشکر بیشتر وابسته به آب‌های زیرزمینی است چرا که این گیاه در مراحل رشدی مختلف به مقادیر بالای آب نیاز دارد (Shrivastava et al. 2011). بنابراین، داشتن الگوی برای نحوه کشت نیشکر و نیز استفاده درست از کود و سموم کشاورزی بر حسب ظرفیت‌های مختلف خاک، می‌تواند به توسعه مزارع سالم و پرمحصول کمک نماید.

در این تحقیق، ضمن شناسایی فلور قارچ‌های میکوریزی مزارع نیشکر استان خوزستان، نوسانات تراکم هاگ‌ها در ارتباط با متغیرهایی از قبیل خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک هر منطقه، تناوب کشت و سن راتون بررسی شد و سپس تاثیر این نوسانات بر میزان تولید و عملکرد نیشکر در مزارع مختلف، مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.

## روش بررسی

- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری از مزارع جدید (بدون سابقه کاشت) و مزارع نیشکر چندساله استان خوزستان طی فصول بهار و زمستان سال‌های ۹۴-۱۳۹۲، توسط همکاران مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان (اهواز) انجام شد. مزارع متعلق به هشت شرکت کشت و صنعت نیشکر استان خوزستان شامل: امیرکبیر، امام خمینی، دهخدا، دعبل خزاعی، سلمان فارسی، کارون، میرزا کوچک خان و هفت‌تپه بودند. از هر مزرعه ۲۵ نمونه خاک، از عمق ۲۵-۲ سانتی‌متری جمع‌آوری و مخلوط شد و از هر نمونه مخلوط، بخشی در پاکت کاغذی با مشخصات ثبت شده، شامل نام یا کد قطعه زمین نمونه‌برداری شده، مرحله رشدی نیشکر، تاریخ نمونه‌برداری و نام جمع‌آوری‌کننده قرار داده شد. از نمونه‌های خاک، بخشی برای جداسازی قارچ‌های میکوریزی و بخشی نیز برای تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک اختصاص داده شد. در آزمایشگاه، به منظور جلوگیری از رشد قارچ‌های ساپروفیت، نمونه‌های خاک، ۳-۴ روز هوادهی و داخل پاکت‌های کاغذی کددار در دمای ۱۵-۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند.

- تعیین مشخصات خاک و مزارع نیشکر

به کمک همکاران مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان (اهواز)، اطلاعات جامعی از وضعیت هر مزرعه، از قبیل سابقه کشت، سن راتون، رقم نیشکر، میزان تولید و عملکرد آن دریافت شد. همچنین، ویژگی‌های

هاگ‌ها با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (عدد ۵۰ = مقدار وزن اولیه خاک مورد آزمایش):

$$\text{کل هاگ‌های شمارش شده} = \frac{\text{تعداد هاگ‌ها در هر گرم خاک}}{۵۰}$$

از همان هاگ‌های جدا شده برای تهیه اسلاید میکروسکوپی و شناسایی قارچ‌های میکوریزی استفاده شد. ماده دربرگیرنده هاگ‌ها، شامل دو قطره کوچک از PVLG (۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر + ۱۰۰ میلی‌لیتر لاکتیک اسید + ۱۰ میلی‌لیتر گلیسرول + ۱۶/۶ گرم پلی‌وینیل الکل) و PVLG + معرف Melzer (۱۰۰ گرم کلرال هیدرات + ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر + ۱/۵ گرم یدین + ۰/۵ گرم یدین پتاسیم) بود که بر سطح اسلاید میکروسکوپی گذاشته و در هر کدام ۵-۱۰ هاگ قرار داده شد (شکل ۱).

فیزیکوشیمیایی خاک (شامل بافت و تراکم خاک، میزان رطوبت، pH، EC، مواد آلی و کربن آلی و برخی عناصر معدنی خاک از جمله فسفر، نیتروژن و پتاسیم) در آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه مذکور اندازه‌گیری گردید.

- استخراج، شمارش و شناسایی هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AM)

جداسازی هاگ‌ها از ۵۰ گرم از هر نمونه خاک مخلوط، با روش گردمان و نیکولسون (Gerdemann & Nicolson 1963) و سانتیفریوژ با محلول قندی ۵۰٪، به روش فورلان و همکاران (Furlan *et al.* 1980) انجام شد و هاگ‌های آن‌ها جداسازی گردید. برای شمارش و تعیین فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی جدا شده، سوسپانسیون حاوی هاگ‌ها از یک کاغذ صافی عبور داده شد. سپس کاغذ صافی به دقت زیر بینوکولار بررسی و هاگ‌های موجود در سطح آن شمارش شد. در نهایت، فراوانی



شکل ۱- اسلاید میکروسکوپی تهیه شده برای تشخیص گونه‌های قارچی میکوریزی. لامل سمت راست حامل PVLG + معرف Melzer و لامل سمت چپ حامل PVLG.

**Fig. 1.** Microscopic slide prepared for the detection of mycorrhizal fungal species. The right coverslip containing PVLG + Melzer's reagent and the left one containing PVLG.

تراکم هاگ قارچ‌های میکوریزی، عملکرد نیشکر و عوامل فیزیکوشیمیایی خاک از آنالیز کاهشی (RDA) استفاده شد (Ter Braak & Prentice 1988, Ter Braak & Smilauer 2002, Leps & Smilauer 2003). پیش از آن برای تصمیم‌گیری در مورد این که از روش درجه‌بندی خطی (Unimodal) استفاده شود، آنالیز DCA انجام شد که به علت پایین بودن شیب، از آنالیز خطی کاهشی RDA استفاده گردید. پس از آن از تست مونت کارلو جهت معنی‌دار بودن ( $P \leq 0.05$ ) تفاوت ارتباط بین تراکم هاگ‌ها و سایر عوامل استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن نمودارهای درجه‌بندی بای‌پلات ترسیم شد.

- بررسی نوسانات تراکم هاگ قارچ‌های میکوریزی در ریزوسفر نیشکر

برای یافتن الگوی خاصی که بتواند پاسخ میکوریز را به شرایط محیطی و از طرفی میزان عملکرد نیشکر نشان دهد می‌بایست از روش‌های رجه‌بندی (Ordination) استفاده کرد. از روش‌های بسیار متنوعی که به صورت آنالیزهای چندمتغیره و با اهداف گوناگون انجام می‌شوند نیز می‌توان به روش‌های تحلیل کاهشی (Redundancy Analysis) و تحلیل تطبیقی متعارف (Canonical Correspondence Analysis) اشاره نمود.

در تحقیق حاضر، جهت آنالیز موردنظر از نرم‌افزار CANOCO (Ver. 4.5) و برای تعیین ارتباط و همبستگی بین

## نتیجه و بحث

- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک ریزوسفر  
 کلیه نمونه‌های خاک ریزوسفر مورد بررسی در این تحقیق  
 از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک شامل میزان EC، pH،  
 درصد رطوبت وزنی، کربن آلی، مواد آلی، برخی عناصر معدنی

(شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و همچنین بافت خاک و درصد  
 اجزای تشکیل‌دهنده آن (شن، رس و سیلت) در آزمایشگاه  
 خاک‌شناسی مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع  
 جانبی خوزستان (اهواز) مورد سنجش قرار گرفتند (جدول ۱).

## جدول ۱- اطلاعات خاک‌شناسی نمونه‌های خاک

Table 1. Soil analysis data for soil samples

No.	Main code	Agro-Industry	EC (dc/m)	PH	Moisture percentage weight (MW%)	Organic Carbon (OC%)	Organic material (OM%)	Nitrogen (N%)	Phosphorus P (ppm)	Soluble Potassium K (mg/li)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Soil texture
1	DC 18-19	Dehkhoda	1.552	7.51	18.45	0.32	0.56	0.013	0.2205	0.09	27.5	35.3	37.2	Clay loam
2	DC 16-21	Dehkhoda	4.18	7.38	19.14	0.3	0.5	0.028	0.171	0.29	31.5	31.3	37.2	Clay loam
3	DC 5-24	Dehkhoda	2.11	7.24	19.5	0.5	0.87	0.037	0.162	0.64	35.5	19.3	45.2	Loam
4	DC 16-15	Dehkhoda	3.7	7.35	21.23	0.32	0.55	0.030	0.18	0.60	29.5	29.3	41.2	Clay loam
5	DC 26-10	Dehkhoda	1.179	7.67	18.49	0.16	0.3	0.018	0.1395	0.38	39.5	21.3	39.2	Loam
6	DC 12-8	Dehkhoda	2.3	7.31	19.16	0.39	0.68	0.079	0.1395	0.19	33.5	23.5	43	Loam
7	DC 12-17	Dehkhoda	2.04	7.42	19.07	0.52	0.89	0.050	0.1305	0.54	35.5	21.5	43	Loam
8	DC 5-22	Dehkhoda	1.931	7.52	16.46	0.5	0.87	0.035	0.207	0.22	35.5	19.3	45.2	Loam
9	SC 27-16	Imam Khomeini	1.868	7.26	20.11	0.34	0.58	0.047	0.1845	0.10	28.5	35.7	35.8	Clay loam
10	SC 25-6	Imam Khomeini	1.165	7.36	19.38	0.22	0.38	0.030	0.252	0.09	26.5	35.8	37.7	Clay loam
11	SC 1-48	Imam Khomeini	1.213	7.24	18.37	0.19	0.32	0.033	0.1665	0.07	26.5	29.7	43.8	Clay loam
12	SC 17-4	Imam Khomeini	1.082	7.39	19.37	0.21	0.37	0.025	0.225	0.14	28.5	31.8	39.7	Clay loam
13	P 2-30	Imam Khomeini	1.294	7.32	14.58	0.4	0.7	0.050	0.18	0.14	52.5	5.6	41.9	Sandy loam
14	P 2-46	Imam Khomeini	1.591	7.27	16.76	0.083	0.14	0.009	0.144	0.35	58.7	15.8	25.5	Sandy loam
15	SC 1-146	Imam Khomeini	1.459	7.13	19.69	0.25	0.44	0.054	0.234	0.37	24.5	35.6	39.3	Clay loam
16	SC 1-LR	Imam Khomeini	1.683	7.14	10.67	0.32	0.55	0.027	0.18	0.10	72.7	11.8	15.5	Sandy loam
17	R 8-4	Da'bal Khazai	2.85	7.13	13.7	0.26	0.45	0.048	0.18	0.14	16.4	41.9	41.7	Silty clay
18	R 6-21	Da'bal Khazai	2.61	7.2	13.46	0.21	0.37	0.032	0.243	0.23	14.4	41.9	43.7	Silty clay
19	R 5-12	Da'bal Khazai	1.683	6.97	16.29	0.16	0.28	0.042	0.153	0.46	34.5	21.8	43.7	Loam
20	L 10-3	Da'bal Khazai	1.432	7.21	16.91	0.19	0.32	0.052	0.2115	0.34	14.5	35.8	49.7	Silty clay loam
21	R 10-5	Da'bal Khazai	1.492	7.2	15.67	0.26	0.45	0.047	0.1305	0.18	28.4	29.8	41.8	Clay loam
22	R 10-3	Da'bal Khazai	1.559	7.15	17.82	0.27	0.47	0.055	0.0945	0.22	14.3	35.9	85.7	Silty clay loam
23	R 11-4	Da'bal Khazai	1.659	7.23	17.86	0.39	0.68	0.045	0.099	0.04	12.3	40	47.7	Silty clay loam
24	L 9-1	Da'bal Khazai	1.408	7.27	18.72	0.23	0.4	0.063	0.171	0.18	18.3	36	45.7	Silty clay loam

Table 1 (contd)			جدول ۱ (ادامه)											
25	ARC 1-10	Da'bal Khazai	1.588	7.2	16.32	0.32	0.56	0.042	0.144	0.32	28.3	28.1	43.6	Clay loam
26	ARC 14-27	Amir Kabir	3.7	6.89	13.28	0.63	1.09	0.081	0.081	1.03	16.3	38	45.7	Silty clay loam
27	ARC 13-32	Amir Kabir	4.33	7.06	17.76	0.42	0.73	0.064	0.1935	0.23	52.6	20.2	27.5	Sandy clay loam
28	ARC 1-8	Amir Kabir	1.554	7.06	7.88	0.25	0.44	0.045	0.135	0.36	48.3	18.1	33.6	Loam
29	L 6-18	Amir Kabir	6.29	7.03	18.92	0.25	0.44	0.010	0.2025	0.40	16.5	42	41.5	Silty clay
30	L 6-16	Mirza Kouchak Khan	4.08	7.12	13.61	0.27	0.46	0.012	0.2475	0.42	14.6	43.9	41.5	Silty clay
31	L 202	Mirza Kouchak Khan	2.31	7.17	12.39	0.33	0.57	0.015	0.054	0.10	28.5	23.9	47.6	Loam
32	L 707	Mirza Kouchak Khan	3.93	6.99	15.79	0.57	0.98	0.074	0.1575	0.51	16.6	30	53.4	Silty clay loam
33	R 722	Mirza Kouchak Khan	2.74	7.01	10.19	0.38	0.66	0.062	0.045	0.15	38.7	29.8	31.5	Clay loam
34	R 710	Mirza Kouchak Khan	2.52	7.07	11.64	0.34	0.6	0.048	0.0675	0.15	30.7	29.8	39.5	Clay loam
35	ARC 9-2	Mirza Kouchak Khan	4.42	6.91	8.74	0.9	1.54	0.087	0.7155	0.32	47.5	21.4	31.1	Loam
36	ARC 14-30	Amir Kabir	4.96	6.61	9.23	0.51	0.89	0.001	0.1575	0.26	16.5	40	43.5	Silty clay loam
37	ARC 204	Amir Kabir	5.25	6.77	18.9	0.48	0.82	0.028	0.117	0.33	40.6	26	33.4	Loam
38	ARC 4-17	Amir Kabir	2.57	6.94	8.63	0.4	0.69	0.005	0.1665	0.68	44.5	24	31.5	Loam
39	ARC 4-19	Amir Kabir	3.22	6.7	8.37	0.41	0.72	0.003	0.126	0.99	55.5	17.3	27.2	Sandy loam
40	ARC 12-7	Amir Kabir	2.84	6.83	6.64	0.41	0.7	0.007	0.4905	0.89	44.5	24	31.5	Loam
41	R 3-15	Amir Kabir	6.41	6.8	15.94	0.41	0.72	0.009	0.189	0.56	13.4	37.4	49.2	Silty clay loam
42	L 7-24	Salman Farsi	1.75	7.03	9.44	0.27	0.46	0.023	0.1575	0.13	27.3	33.5	39.2	Clay loam
43	L 11-23	Salman Farsi	4.44	6.65	9.19	0.34	0.6	0.017	0.189	0.22	21.4	31.4	47.2	Clay loam
44	R 10-11	Salman Farsi	4.8	6.89	16.82	0.25	0.44	0.015	0.1395	0.56	17.3	37.5	45.2	Silty clay loam
45	R 6-17	Salman Farsi	3.72	7.05	11.73	0.4	0.69	0.001	0.162	0.15	17.3	41.5	41.2	Silty clay
46	L 11-14	Salman Farsi	9.32	6.93	11.48	0.35	0.61	0.019	0.18	0.67	15.3	37.5	47.2	Silty clay loam
47	R 11-16	Salman Farsi	5.48	6.87	20.13	0.21	0.37	0.014	0.243	0.39	27.3	37.6	35.1	Clay loam
48	L 1-12	Salman Farsi	5.53	6.82	12.46	0.1	0.18	0.001	0.1215	0.20	13.3	35.5	51.2	Silty clay loam
49	318/3	Salman Farsi	2.74	7.65	-	0.39	0.67	0.06	10.6	0.22	24	23.9	52.1	Silty loam
50	446/4	Karoun	2.19	7.62	-	0.4	0.69	0.05	9.8	0.39	16.5	31.9	51.6	Silty clay loam
51	462/3	Karoun	2.29	7.68	-	0.38	0.66	0.06	7.4	0.30	28.5	19.9	51.6	Silty loam
52	446/2	Karoun	2.64	7.61	-	0.41	0.71	0.06	7.0	0.24	20.5	27.9	51.6	Clay loam

Table 1 (contd)											جدول ۱ (ادامه)				
53	461/3	Karoun	1.241	7.6	-	0.3	0.53	0.05	5.2	0.43	26.5	25.8	47.7	Loam	
54	647A/1	Karoun	1.136	7.53	-	0.51	0.87	0.08	4.2	0.14	16.5	29.9	53.6	Silty clay loam	
55	661B/2	Karoun	1.354	7.59	-	0.39	0.68	0.07	3.8	0.24	22.5	21.9	55.6	Silty loam	
56	655/1	Karoun	0.983	7.59	-	0.35	0.6	0.07	10.6	0.16	16.5	37.9	45.6	Silty clay loam	
57	121S	Karoun	1.823	7.62	9.64	0.11	0.2	0.05	6.4	0.41	30.5	19.9	49.6	Loam	
58	132D	Haft Tappeh	3.35	7.58	8.11	0.39	0.68	0.08	11.6	0.91	24.5	22	53.5	Silty loam	
59	131B	Haft Tappeh	5.22	7.6	11.09	0.45	0.78	0.06	4.8	0.25	32.5	20	47.5	Loam	
60	705C	Haft Tappeh	2.59	7.4	9.87	0.25	0.43	0.05	10.2	0.28	40.5	19.9	39.6	Loam	
61	551A	Haft Tappeh	1.478	7.56	11.03	0.42	0.72	0.08	12.6	0.21	18.4	38	43.6	Silty clay loam	
62	401B1	Haft Tappeh	2.094	7.6	7.86	0.4	0.69	0.07	10.6	0.26	30.5	24	45.5	Loam	
63	105A	Haft Tappeh	5.95	7.58	9.27	0.26	0.45	0.06	4.8	0.28	20.5	34	45.5	Clay loam	
64	413D2	Haft Tappeh	1.499	7.55	13.83	0.42	0.72	0.09	32.6	0.40	34.5	23.9	41.6	Loam	

## - شناسایی گونه‌های قارچ‌های میکوریزی

هاگ قارچ‌ها در حد گونه، به کمک کلیدهای شناسایی قارچ‌های میکوریزی و برخی مقالات معتبر انجام شد (Schenk & Perez 2012, Błaszowski 1988):

با بررسی اسلایدهای تهیه شده از سوسپانسیون حاوی هاگ‌های میکوریزی، مجموعاً ۳۰ گونه قارچ به شرح زیر تشخیص داده شد (Zangeneh 2021, 2023). شناسایی ریخت‌شناختی

1. *Acaulospora gedanensis* Błaszcz.
2. *A. herrerae* E. Furrázola, B.T. Goto, G.A. Silva, Sieverd. & Oehl
3. *A. scrobiculata* Trappe
4. *Archaeospora schenckii* (Sieverd. & S. Toro) C. Walker & A. Schüßler
5. *Ar. trappei* (R.N. Ames & Linderman) J.B. Morton & D. Redecker
6. *Claroideoglossum claroideum* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler
7. *C. etunicatum* (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler
8. *Denticutata erythropus* (Koske & C. Walker) C. Walker & D. Redecker
9. *Diversispora gibbosa* (Błaszcz.) Błaszcz. & Kovács
10. *Dominikia aurea* (Oehl & Sieverd.) Błaszcz., Chwat, G.A. Silva & Oehl
11. *Entrophospora infrequens* (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid.
12. *E. kentinensis* C.G. Wu & Y.S. Liu, in Wu, Liu, Hwuang, Wang & Chao
13. *Funneliformis constrictus* (Trappe) C. Walker & A. Schüßler
14. *F. coronatus* (Giovann.) C. Walker & A. Schüßler
15. *F. geosporus* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler
16. *F. mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler
17. *Gigaspora rosea* T.H. Nicolson & N.C. Schenck
18. *Glomus corymbiforme* Błaszcz.
19. *G. macrocarpum* Tul. & C. Tul.
20. *G. nanolumen* Koske & Gemma
21. *Oehlia diaphana* (J.B. Morton & C. Walker) Błaszcz., Kozłowska, Niezgodna, B.T. Goto & Dalpé
22. *Paraglossum albidum* (C. Walker & L.H. Rhodes) Oehl, G.A. Silva & Sieverd.
23. *Rhizoglossum microaggregatum* (Koske, Gemma & P.D. Olexia) Sieverd., G.A. Silva & Oehl
24. *Rhizophagus aggregatus* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker
25. *R. custos* (C. Cano & Dalpé) C. Walker & A. Schüßler
26. *R. fasciculatus* (Thaxt.) C. Walker & A. Schüßler

27. *R. intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler  
 28. *R. invermaius* (I.R. Hall) C. Walker  
 29. *Scutellospora calospora* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders  
 30. *Tricispora nevadensis* (Palenz., N. Ferrol, Azcón-Aguilar & Oehl) Oehl, Palenz., G.A. Silva & Sieverd.

در میان قارچ‌های فهرست فوق به ترتیب، بیشترین فراوانی را در خاک مزارع نیشکر نشان دادند. محل جداسازی قارچ‌های شناسایی شده در جدول ۲ نشان داده شده است. *Rhizophagus aggregatus*، *Claroideoglopus etunicatum*، *F. geosporus* و *Funneliformis mosseae*، *R. intraradices*

### جدول ۲- قارچ‌های میکوریزی شناسایی شده و تراکم هاگ‌ها در مزارع نیشکر کشت و صنعت‌های مختلف

**Table 2.** Identified species and spore density of mycorrhizal fungi in sugarcane fields in various sugarcane cultivation and industry companies

No.	Agro-Industry	Main code	Mycorrhizal fungus	Spore density/gr soil
1	Dehkhoda	D5-24	<i>Claroideoglopus claroideum</i> , <i>C. etunicatum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>F. mosseae</i>	4.91
2	Dehkhoda	DC12-17	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Glomus nanolumen</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	4.27
3	Dehkhoda	DC12-8	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	10.3
4	Dehkhoda	DC5-22	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	1.27
5	Dehkhoda	DC26-10	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Entrophospora infrequens</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>F. mosseae</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	2.48
6	Dehkhoda	DC16-21	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>F. mosseae</i> , <i>Rhizophagus fasciculatus</i> , <i>Rh. intraradices</i> , <i>Rhizoglopus microaggregatum</i>	3.73
7	Dehkhoda	DC18-19	<i>Acaulospora gedanensis</i> , <i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Funneliformis coronatus</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus fasciculatus</i>	1.56
8	Dehkhoda	DC16-15	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Entrophospora infrequens</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i> , <i>Rhizoglopus microaggregatum</i> , <i>Tricispora nevadensis</i>	8.69
9	Imam Khomeini	SC25-6	<i>Funneliformis geosporus</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rhizoglopus microaggregatum</i>	3.4

Table 2 (contd)			جدول ۲ (ادامه)	
10	Imam Khomeini	SC27-16	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Diversispora gibbosa</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>Rhizophagus fasciculatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	4.1
11	Imam Khomeini	SC17-4	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Glomus corymbiforme</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	10.5
12	Imam Khomeini	SC1-48	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i>	1.77
13	Imam Khomeini	P2-30	<i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Glomus macrocarpum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	15.3
14	Imam Khomeini	P2-46	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	1.62
15	Imam Khomeini	SC1-146	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	26.16
16	Imam Khomeini	SC1LR-13-4	<i>Acaulospora herrerae</i> , <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Dentiscutata erythropus</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Septoglo mus constrictum</i>	2.48
17	Da'bal Khazai	R8-4	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i> , <i>Rh. aggregatus</i>	3.72
18	Da'bal Khazai	R6-21	<i>Dominikia aurea</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	1.6
19	Da'bal Khazai	R5-12	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	0.3
20	Da'bal Khazai	L10-3	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. fasciculatus</i>	5.2
21	Da'bal Khazai	R10-5	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. fasciculatus</i>	3.08
22	Da'bal Khazai	R10-3	<i>Claroideoglo mus claroideum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	4.74
23	Da'bal Khazai	R11-4	<i>Acaulospora gedanensis</i> , <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	4.84
24	Da'bal Khazai	L9-1	<i>Acaulospora gedanensis</i> , <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>F. mosseae</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	343



Table 2 (contd)			جدول ۲ (ادامه)	
25	Da'bal Khazai	Arc1-10	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	7.66
26	Amir Kabir	Arc14-27	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	2.44
27	Amir Kabir	Arc13-32	<i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Archaeospora schenckii</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i> , <i>Rhizoglomus microaggregatum</i>	4.2
28	Amir Kabir	Arc1-8	<i>Archaeospora trappei</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis coronatus</i> , <i>Gigaspora rosea</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	2.6
29	Amir Kabir	L6-18	<i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Gigaspora rosea</i> , <i>Rhizophagus custos</i> , <i>Tricispora nevadensis</i>	0.18
30	Mirza Kouchak Khan	L6-16	<i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i>	1.4
31	Mirza Kouchak Khan	L202	<i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Dominikia aurea</i> , <i>Funneliformis geosporus</i> , <i>Rhizophagus fasciculatus</i> , <i>Rh. invermaius</i>	2.78
32	Mirza Kouchak Khan	L707	<i>Archaeospora schenckii</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Glomus corymbiforme</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	0.4
33	Mirza Kouchak Khan	R722	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Septoglomus constrictum</i>	3.14
34	Mirza Kouchak Khan	R710	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Oehlia diaphana</i> , <i>Rhizophagus custos</i> , <i>Rh. intraradices</i>	3.22
35	Mirza Kouchak Khan	Arc9-2	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	1.24
36	Amir Kabir	Arc14-30	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Oehlia diaphana</i>	0.5
37	Amir Kabir	Arc204	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	4.3
38	Amir Kabir	Arc4-17	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	3.12
39	Amir Kabir	Arc4-19	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	16.3
40	Amir Kabir	Arc12-7	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	1.98

Table 2 (contd)			جدول ۲ (ادامه)	
41	Amir Kabir	R3-15	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus invernaius</i>	0.64
42	Salman Farsi	L7-24	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i> , <i>Rh. invernaius</i>	7.46
43	Salman Farsi	L11-23	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	10.62
44	Salman Farsi	R10-11	<i>Archaeospora schenckii</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis geosporus</i>	17.7
45	Salman Farsi	R6-17	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	1.2
46	Salman Farsi	L11-14	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	1.78
47	Salman Farsi	R11-16	<i>Archaeospora schenckii</i>	7.48
48	Salman Farsi	L1-12	<i>Archaeospora trappei</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	0.72
49	Salman Farsi	318/3	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i>	2.8
50	Karoun	446/4	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Paraglomus albidum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i> , <i>Scutellospora calospora</i>	4.86
51	Karoun	462/3	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	7.26
52	Karoun	446/2	<i>Rhizophagus intraradices</i>	5.26
53	Karoun	461/3	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i> , <i>Scutellospora calospora</i>	5.16
54	Karoun	647A/1	<i>Rhizophagus intraradices</i> , <i>Scutellospora calospora</i>	2.02
55	Karoun	661B/2	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Scutellospora calospora</i>	1.72
56	Karoun	655/1	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i> , <i>Rh. intraradices</i>	0.8
57	Karoun	121S	<i>Archaeospora schenckii</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>	0.3
58	Haft Tappeh	132D	<i>Archaeospora schenckii</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i>	0.58

Table 2 (contd)			جدول ۲ (ادامه)
59	Haft Tappeh	131B	0.5 <i>Archaeospora</i> sp., <i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> ,
60	Haft Tappeh	705C	0.1 <i>Archaeospora trappei</i> , <i>Claroideoglopus etunicatum</i>
61	Haft Tappeh	551A	1.1 <i>Claroideoglopus etunicatum</i>
62	Haft Tappeh	401B1	0.04 <i>Claroideoglopus etunicatum</i>
63	Haft Tappeh	105A	0.3 <i>Claroideoglopus etunicatum</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus aggregatus</i>
64	Haft Tappeh	413D2	0.3 <i>Rhizophagus aggregatus</i>

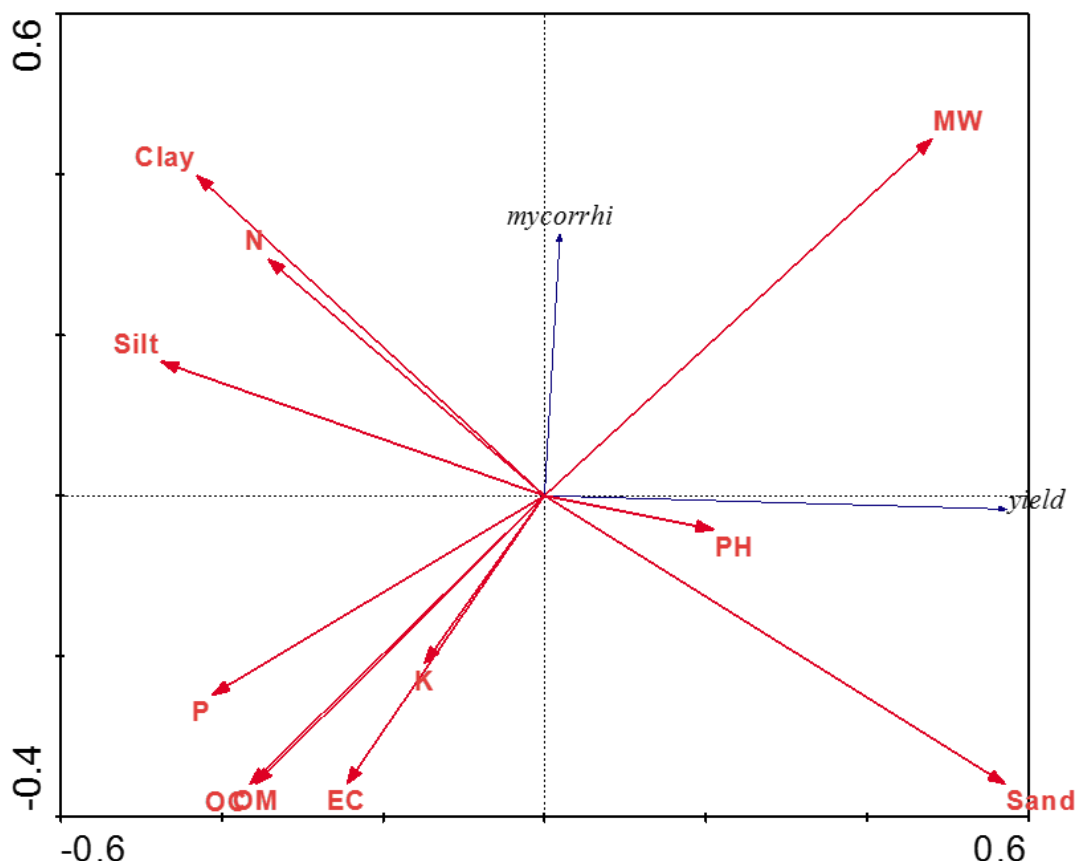
- ارتباط خصوصیات خاک با فراوانی هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر

از آنجایی که میزان فراوانی هاگ‌ها در خاک، می‌تواند به خوبی نمایانگر فعالیت قارچ‌های میکوریزی باشد، ارتباط فراوانی بین هاگ‌ها و عملکرد نیشکر در کنار عوامل مختلف خاک سنجیده شد (شکل ۲).

همان گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، رابطه بین فراوانی هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر یکسویه و مثبت است. در واقع، با افزایش هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی میزان عملکرد نیشکر افزایش یافته است. این یافته مطابق با نتایج به دست آمده توسط سورندران و وانی ( Surendran & Vani 2013) است. طبق یافته‌های این پژوهشگران، استفاده از قارچ‌های میکوریزی به عنوان کود بیولوژیکی توانسته علاوه بر افزایش کیفیت محصول نیشکر، نیاز این گیاه را به استفاده از کود فسفره تا ۲۵٪ کاهش دهد. دیگر عواملی که بر فراوانی هاگ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر تاثیر داشتند، می‌توان به مقدار ذرات شن که منجر به سبک شدن بافت خاک می‌شود، اشاره نمود. ارتباط مستقیمی بین هوارسی به خاک و افزایش رشد گیاهان وجود دارد؛ چرا که از یک سو، ریشه که قادر نیست با فتوسنتز اکسیژن تولید کند، اکسیژن مورد نیاز خود را از ریزوسفر اطراف دریافت می‌کند. از سوی دیگر، هوارسی به خاک ضمن فراهم نمودن بستر برای رشد میکروارگانیسم‌های مفید خاک (از جمله قارچ‌های میکوریز) و نامساعد نمودن محیط زندگی برای میکروارگانیسم‌های مضر و بیماری‌زا که بیشتر، شرایط بی‌هوازی را ترجیح می‌دهند، به رشد و سلامت گیاه میزبان کمک شایانی می‌نماید. از سوی دیگر، از آنجا که نیشکر در مراحل رشدی مختلف به مقادیر بالای آب نیاز دارد (Shrivastava et al. 2011)، می‌توان به خوبی رابطه مثبت بین افزایش عملکرد این گیاه را با

میزان رطوبت خاک توجیه نمود.

در عین حال، بین برخی عوامل خاک با قارچ همزیست میکوریزی و گیاه نیشکر ارتباط مثبتی دیده نمی‌شود. همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، ارتباط بین عملکرد نیشکر و مقدار هاگ‌های قارچ‌های میکوریز، به ترتیب با میزان کربن آلی، ماده آلی، فسفر، شوری، ذرات سیلت، ذرات رس، پتاسیم و نیتروژن خاک منفی است؛ به این معنی که با افزایش هر یک از این عوامل، میزان عملکرد نیشکر و مقدار هاگ قارچ‌های میکوریز کاهش یافته است. میزان کربن آلی خاک برخلاف برخی نتایج، تاثیر منفی بر میزان هاگ‌زایی قارچ‌های میکوریزی داشته است (Johnson et al. 2003, Mohammad et al. 1991). با این حال، مطابق با بیشتر نتایج، تراکم هاگ قارچ‌های میکوریزی با میزان پتاسیم و فسفر خاک ارتباطی منفی دارند (Oliveira & Oliveira 2010, Panwar et al. 2011). به طور معمول، با کاهش فسفر قابل جذب برای گیاه در خاک، میزان هاگ‌زایی قارچ‌های میکوریزی افزایش می‌یابد (Galvez et al. 2001)؛ شاید به این دلیل که مقادیر زیادی از اسیدآمینو و قند ترشح شده در ریزوسفر، جذب قارچ‌های میکوریزی می‌شوند (Galvez et al. 2001) ولی به گفته برخی از محققان، خود افزایش فسفر در دسترس می‌تواند منجر به کاهش میزان همزیستی و نیز کاهش هاگ‌زایی گردد (Anderson & Ingram 1994). در برخی منابع، گزارش شده که پتاسیم محرک قارچ‌های میکوریزی است و حداقل این عنصر در خاک برای نمو میکوریز لازم است (Quimet et al. 1996)، در حالی که طبق نتایج این تحقیق، با افزایش مقدار پتاسیم از تراکم هاگ میکوریزی کاسته می‌شود. با در نظر گرفتن تاثیر منفی فسفر، نیتروژن و پتاسیم بر میزان هاگ‌زایی و فعالیت میکوریزی می‌توان به این حقیقت پی برد که مصرف کودهای شیمیایی باعث کاهش روند رشد و فعالیت این قارچ‌های مفید شده است.



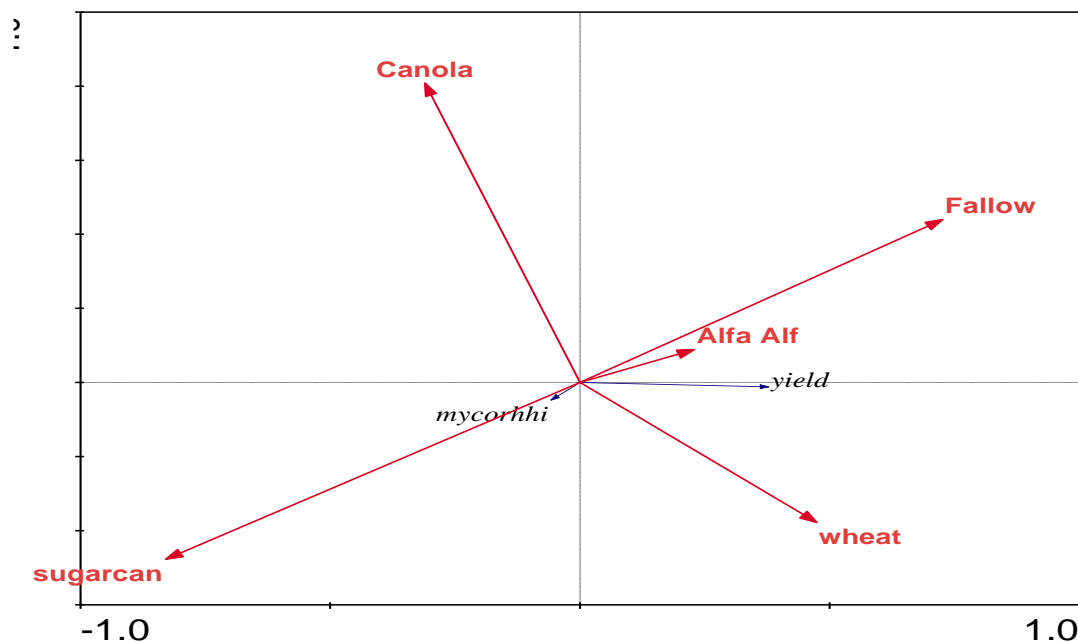
شکل ۲- بای پلات به دست آمده توسط آنالیز کاهش (RDA)، توصیف‌کننده بین عملکرد نیشکر، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و خصوصیات اندازه‌گیری شده مربوط به خاک محل‌های نمونه‌برداری ( $P \leq 0.05$ ). Mycorrhizal = تراکم هاگ قارچ‌های میکوریزی (در گرم خاک)، Yield = عملکرد نیشکر (در واحد سطح)، EC = شوری خاک، pH = اسیدیته خاک، MW = درصد رطوبت وزن خاک، OC = کربن آلی خاک، Om = ماده آلی خاک، N = درصد نیتروژن خاک، P = مقدار فسفر خاک، K = مقدار پتاسیم خاک، sand = درصد شن خاک، clay = درصد رس خاک و Silt = درصد سیلت خاک.

**Fig. 2.** Bi-plot obtained by reduction analysis (RDA), describing sugarcane yield, mycorrhizal fungi spore abundance and the measured characteristics related to the soil of the sampling sites ( $P \leq 0.05$ ). Mycorrhizal = spore density of mycorrhizal fungi (per gram of soil), Yield = sugarcane yield (per unit area), EC = soil salinity, pH = soil acidity, MW = soil moisture percentage, OC = soil organic carbon, Om = soil organic matter, N = soil nitrogen percentage, P = soil phosphorus content, K = soil potassium content, sand = soil sand percentage, clay = soil clay percentage and Silt = soil silt percentage.

همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، تهویه مناسب خاک باعث تنفس قارچ و افزایش رشد آن می‌شود؛ به همین جهت بی دلیل نیست که بالارفتن میزان ذرات رس و سیلت خاک بر میزان چسبندگی و تراکم خاک اثر داشته و در نتیجه موجب کاهش هاگ‌زایی قارچ میکوریزی می‌شود.

- ارتباط بین تناوب زراعی، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر

تأثیر شوری نیز بر روند رشد گیاه و در نتیجه رسیدن قند بیشتر به قارچ، از عوامل دیگر این فرایند محسوب می‌شود. به همین دلیل عامل شوری می‌تواند باعث کاهش رشد قارچ میکوریزی شود. در همین ارتباط می‌توان به نتیجه تحقیق مک‌میلن و همکاران (McMillen *et al.* 1998) اشاره کرد که نشان داد استرس شوری از جوانه‌زنی هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی آریوسکولار و به همان نسبت از رشد ریشه‌ها جلوگیری می‌کند.



شکل ۳- بای پلات به دست آمده توسط آنالیز کاهش (RDA)، توصیف‌کننده بین عملکرد نیشکر، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و سابقه کشت گیاهان زراعی. Mycorrhizal = تراکم هاگ قارچ‌های میکوریزی (در گرم خاک)، Yield = عملکرد نیشکر (در واحد سطح)، Fallow = آیش، Alfa Alfa = یونجه، Wheat = گندم، Canola = کلزا و Sugar cane = نیشکر.

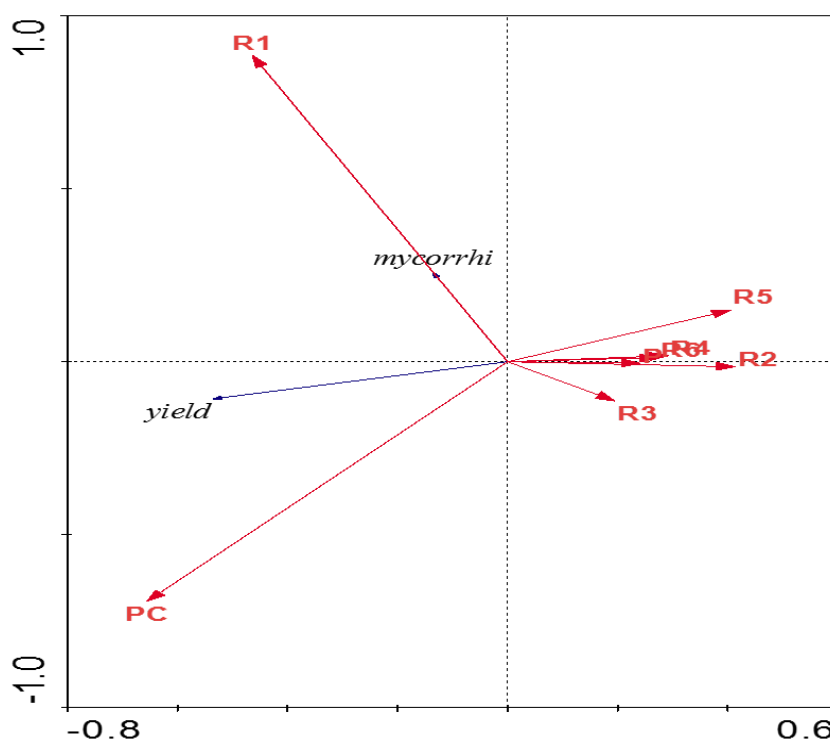
**Fig. 3.** Biplot obtained by reduction analysis (RDA), describing between sugarcane yield, mycorrhizal fungal spore abundance and crop cultivation history. Mycorrhizal = mycorrhizal fungi spore density (per gram of soil), Yield = sugarcane yield (per unit area), Fallow = fallow, Alfa Alfa = alfalfa, Wheat = wheat, Canola = rapeseed and Sugar cane = sugarcane.

رقابت با میکروبه‌های جدید شده باشند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با تاثیر منفی کشت تناوب کلزا بر عملکرد نیشکر، از گیاهانی برای کشت تناوب استفاده شود که قابلیت ایجاد همزیستی با قارچ‌های میکوریزی را داشته باشند. تاثیر کشت تناوب گیاهان زراعی با نیشکر در مقالات دیگر محققان هم آمده است. برای مثال، در مطالعه‌ای که نانگ‌کینگ و کایانگ (Nongkling & Kayang 2017) بر تاثیر کاشت گیاهان مختلف بر عملکرد و خصوصیات خاک مزارع برنج داشته‌اند، مشخص شد که تعداد هاگ قارچ‌های میکوریزی در مزارعی که کشت تناوبی دارند بسیار بالاتر از مزارع با کشت مداوم برنج است. براساس یافته‌های محققان مذکور، این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییر میزان رطوبت، کربن آلی و تفاوت میزان فسفر و نیتروژن خاک باشد. در تایید نتایج تحقیق حاضر می‌توان به پژوهشی که آمبروسانو و همکاران (Ambrosano *et al.* 2010) انجام داده‌اند نیز اشاره نمود. این محققان نشان دادند که تناوب محصول زراعی نیشکر با لگوم‌ها کمک به حاصلخیزی خاک و جلوگیری از فرسایش خاک کرده و در نتیجه باعث افزایش تولید شکر شده است. بای پلات ارتباط بین عملکرد نیشکر، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و سابقه کشت گیاهان زراعی در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، اگر به جای کشت مداوم نیشکر، به شکل تناوب از محصولاتی همچون گندم و یونجه استفاده شود یا حتی زمین آیش گذاشته شود، عملکرد نیشکر افزایش می‌یابد. همچنین، در بررسی حاضر مشاهده گردید که کشت کلزا در تناوب با نیشکر موجب افزایش تعداد هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی شده است. طبق مطالعات انجام شده گیاهان شب‌بوئیان (*Brassicaceae*)، از جمله کلزا، تمایلی به ایجاد همزیستی با قارچ‌های میکوریزی ندارند، در عین حال برای جبران نبود همزیست قارچی، موادی از ریشه‌های خود ترشح می‌کنند که جمعیت میکروبی خاک را به نفع خود برای جذب نیتروژن و فسفر تغییر می‌دهد (Sharma *et al.* 2023). به همین دلیل به نظر می‌رسد آیش مزارع نیشکر با گیاه کلزا، از طرفی به خاطر وجود ریشه‌های میکوریزی در خاک و عدم موفقیت آن در ایجاد همزیستی با گیاه کلزا، قارچ میکوریزی را ناگزیر به تکثیر و افزایش هاگ‌های مقاومی در خاک کرده است. با این حال، به دلیل تغییر ساختار میکروبی خاک، به نظر می‌رسد شرایط برای همزیستی میکوریزی گیاه کشت بعدی که نیشکر باشد تغییر داده و چه بسا بدتر کرده باشد، چرا که امکان دارد میکروبه‌های کمک‌کننده به برقراری همزیستی، جمعیتشان کاهش یافته و یا آن که دچار

نیشکر باعث کاهش عملکرد آن می‌شود و می‌توان انتظار داشت که اگر این محصول با گیاهان دیگر در یک تناوب زراعی مناسب قرار داده شود، نتیجه بهتری حاصل می‌گردد. بای پلات مربوط به ارتباط بین عملکرد نیشکر، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و سن راتون در شکل ۴ آورده شده است.

ارتباط بین سن راتون، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، با افزایش سن راتون که در واقع همان کشت مداوم نیشکر است، عملکرد محصول و فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی کاهش یافته است. این نتایج تاییدکننده دستاوردهای قبلی مبنی بر این است که کشت مداوم



شکل ۴- بای پلات به دست آمده توسط آنالیز کاهش (RDA)، توصیف کننده بین عملکرد نیشکر، فراوانی هاگ قارچ‌های میکوریزی و سن راتون. PC = کشت اولیه نیشکر، R1-R6 = به ترتیب نشان‌دهنده راتون‌های سال اول تا ششم هستند.

**Fig. 4.** Biplot obtained by reduction analysis (RDA), describing between sugarcane yield, mycorrhizal fungi spore abundance, and ratoon age. PC = primary sugarcane crop, R1-R6 = ratoons from the first to sixth year, respectively.

که وابسته به همزیستی میکوریزی هستند، در تناوب زراعی با نیشکر یا حتی آیش گذاشتن مزرعه می‌تواند موجب افزایش فعالیت قارچ‌های میکوریزی و افزایش عملکرد نیشکر شود. به علاوه، این نتایج می‌تواند در انتخاب مزارع مناسب کشت نیشکر و اتخاذ شیوه‌های مدیریت مصرف کود در کشت نیشکر تاثیرگذار باشد. همچنین، گونه‌های پرتراکم میکوریزی شناسایی شده، می‌توانند برای تهیه کودهای بیولوژیک و تقویت خاک مزارع استفاده شوند.

در مجموع، با بررسی اثر عوامل مختلف فیزیکیوشیمیایی خاک، تناوب کشت، سن راتون و ارقام نیشکر بر تراکم هاگ‌های میکوریزی و عملکرد نیشکر در تحقیق حاضر، چنین به نظر می‌رسد که این گیاه بیشترین عملکرد خود را زمانی خواهد داشت که در خاکی با تهویه کافی (دارای شن مناسب)، مقدار pH خنثی و تقریباً قلیایی، میزان رطوبت کافی، با مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز گیاه (NPK) و نه مازاد بر آن کاشته شود. کشت مداوم نیشکر باعث کاهش عملکرد و کاهش میزان همزیستی با قارچ‌های میکوریزی می‌شود و وجود گیاهانی نظیر یونجه و گندم

**References**

- Ambrosano, E.J., Azcón, R., Cantarella, H., Ambrosano, G.M.V., Schammas, E.A. & Muraoka, T. 2010. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. *Scientia Agricola* 67: 692–701.
- Anderson, J.M. & Ingram, J.S. 1994. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. *Soil Science* 157(4): 265. DOI: 10.2307/2261129.
- Błaszowski, J. 2012. *Glomeromycota*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- Davani, D. 2014. Sugarcane Farming. Tehran, Institute of Technical Vocational Higher Education. Ministry of Jihad-e-Agriculture (In Persian).
- Friberg, S. 2001. Distribution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in traditional agriculture on the Niger inland delta, Mali, West Africa. *CBM: Skriftserie* 3: 53–80.
- Furlan, V., Bartschi, H. & Fortin, J.A. 1980. Media for density gradient extraction of endomycorrhizal spores. *Transactions of the British Mycological Society* 75(2): 336–338.
- Galvez, L., Doudds, D.D. & Wagoner, P. 2001. Tillage and farming system affect AM fungus populations, mycorrhizal formation, and nutrient uptake by winter wheat in a high-P soil. *American Journal of Alternative Agriculture* 16: 152–160. DOI: 10.1017/S0889189300009139.
- Gerdemann, J.W. & Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal fungi isolated from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235–244. DOI: 10.1016/S0007-1536(87)80216-4.
- Johnson, D., Leake, J.R. & Read, D.J. 2006. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in carbon and nutrient cycling in grassland. *Fungi in Biogeochemical Cycles*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 129–150.
- Leps, J. & Smilauer, P. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, Cambridge. DOI: 10.1017/CBO9780511615146.
- Matamoros, M.A., Baird, L.M., Escuredo, P.R., Dalton, D.A., Minchin, F.R., Iturbe-Ormaetxe, I., Rubio, M.C., Moran, J.F., Gordon, A.J. & Becana, M. 1999. Stress induced legume root nodule senescence: Physiological, Biochemical, and Structural Alterations *Plant Physiology* 121(1): 97–112. DOI: 10.1104/pp.121.1.97.
- McMillen, B., Juniper, S. & Abbott, L.K. 1998. Inhibition of hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in soil containing sodium chloride limits the spread of infection from spores. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1639–1646. DOI: 10.1016/S0038-0717(97)00204-6.
- Mohammad, M.J., Malkawi, H.I. & Shibli, R. 2003. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. *Journal of plant nutrition* 26(1): 125–137. DOI: 10.1081/PLN-120016500.
- Mohammad, M.J., Pan, W.L. & Kennedy, A.C. 1995. Wheat responses to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal inoculation of soils from eroded toposequences. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1086–1090. DOI: 10.2136/sssaj1995.03615995005900040020x.
- Nongkling, P. & Kayang, H. 2017. Soil physicochemical properties and its relationship with AMF spore density under two cropping systems. *Current Research in Environmental and Applied Mycology* 7(1): 33–39. DOI: 10.5943/cream/7/1/5.
- Oliveira, A.N. & Oliveira, L.A. 2010. Influence of edaphic-climatic factors on the sporulation and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in two Amazonian native fruit species. *Brazilian*

- Archives of Biology and Technology 53: 653–661. DOI: 10.1590/S1516-89132010000300021.
- Panwar, V., Meghvansi, M.K. & Sazada, S. 2011. Short-term temporal variation in sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and physico-chemical edaphic properties of wheat rhizosphere. Saudi Journal of Biological Sciences 18(3): 247–254. DOI: 10.1016/j.sjbs.2010.12.012.
- Powell, C.L. 1984. Field inoculation with VA mycorrhizal fungi. Pp. 205–222. In: Powell, C.L. & Bagyaraj, D.J. (eds), VA Mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Quimet, R., Camir, E.C. & Furlan, V. 1996. Effect of soil K, Ca and Mg saturation and endomycorrhization on growth and nutrient uptake of sugar maple seedlings. Plant Soil 179: 207–216. DOI: 10.1007/BF00009330.
- Robson, A.D., Abbott, L.K. & Malajczuk, N. 1994. Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry: Proceedings of an International Symposium on Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry, 28 Sept.–2 Oct. 1992, Perth, WA, Australia.
- Schenk, N.C. & Perez, Y. 1988. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal fungi. 241 pp.
- Sharma, A., Sinharoy, S. & Bisht, N.C. 2023. The mysterious non-arbuscular mycorrhizal status of Brassicaceae species. Environmental Microbiology 25(5): 917–930. DOI: 10.1111/1462-2920.16339.
- Shrivastava, A.K., Srivastava, A.K. & Solomon, S. 2011. Sustaining sugarcane productivity under depleting water resource. Current Science 101: 748–754. <https://www.jstor.org/stable/24078662>.
- Smith, S.E. & Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London.
- Surendran, U. & Vani, D. 2013. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane productivity under semiarid tropical agro ecosystem in India. International Journal of Plant Production 7(2): 269–277. [http://sid.ir/En/VEWSSID/J\\_pdf/124220130206.pdf](http://sid.ir/En/VEWSSID/J_pdf/124220130206.pdf).
- Sylvia, D. 1999. Mycorrhizal Symbioses. Pp. 408–426. In: Sylvia, D., Fuhrmann, J., Hartel, P. & Zuberer, D. (eds), Principles and Applications of Soil Microbiology. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Biometris, Wageningen.
- Ter Braak, C.J.F. & Prentice, I.C. 1988. 'A theory of gradient analysis', Advances in Ecological Research 18: 271–317. DOI: 10.1016/S0065-2504(03)34003-6.
- Wang, G.M., Stribley, D.P., Tinker, P.B. & Walker, C. 1993. Effects of pH on arbuscular mycorrhiza I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn. New Phytologist 124: 465–472. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03837.x.
- Young, J.L., Davis, E.A. & Rose, S.L. 1985. Endomycorrhizal fungi in breeder wheats and Triticale cultivars field-grown on fertile soil 1. Agronomy Journal 77(2): 219–224. DOI: 10.2134/agronj1985.00021962007700020011x.
- Zangeneh, S. 2021. Introduction of some new species of genus *Acaulospora* from Iran. Rostaniha 22(1): 67–74. DOI: 10.22092/botany.2021.353400.1235.
- Zangeneh, S. 2023. Some new species of arbuscular mycorrhizal fungi symbiotic with sugarcane from Iran. Rostaniha 24(1): 78–87. DOI: 10.22092/BOT.J.IRAN.2023.362848.1365.