روابط خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۰ / صفحات ۱۰۹-۹۳
مقاله پژوهشی

نقش قارچ مایکوریزا (*Rhizophagus intaradices*) و هیدروژل بر کارآیی مصرف آب و عملکرد خیار در شرایط کشت بدون خاک

معروف خلیلی[1*]، ابوالفضل توسلی[1] و مهدی دادمهر[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۰)

چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای با توجه به تولید محصول بالا و درآمد اقتصادی مناسب، از اهمیت زیادی برخوردارند. از این‌رو یافتن روش‌هایی که سبب افزایش عملکرد و کارآیی مصرف آب در شرایط گلخانه شود ضروری است. تلقیح قارچ مایکوریزا و استفاده از هیدروژل می‌تواند به‌عنوان راهکاری در این زمینه مطرح شود. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه دانشگاه پیام نور مرکز زاهدان در سال ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل حجم آب آبیاری در سه سطح کم، متوسط و نرمال به‌ترتیب شامل ۵۴۰، ۷۹۰ و ۱۰۴۰ لیتر آب در متر مربع در طول دوره رشد به‌عنوان فاکتور اول، سطوح قارچ مایکوریزا در دو سطح بدون تلقیح و تلقیح به‌عنوان فاکتور دوم، و کاربرد هیدروژل در دو سطح بدون کاربرد و کاربرد به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال و کاربرد توأم قارچ و هیدروژل بیش‌ترین مقادیر صفات ارتفاع بوته، تعداد میوه در بوته، عملکرد نهایی میوه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوی نسبی آب برگ و کارآیی مصرف آب حاصل شد. برای صفات فوق تفاوت آماری معنی‌داری بین این تیمار با تیمار آبیاری نرمال و تلقیح قارچ و بدون استفاده از هیدروژل مشاهده نشد. در شرایط آبیاری متوسط بیش‌ترین مقادیر صفات مذکور از تیمار کاربرد توام قارچ و هیدروژل به‌دست آمد به‌طوری که حتی عملکردهای به‌دست آمده در این تیمار از نظر آماری با تیمار آبیاری نرمال اما بدون استفاده از قارچ و هیدروژل اختلاف معنی‌دار نداشت. در شرایط آبیاری کم نیز بیش‌ترین مقادیر صفات مورد بررسی از تیمار کاربرد توأم قارچ و هیدروژل و تیمار کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ حاصل شد. همچنین کم‌ترین مقادیر صفات مورد بررسی از آبیاری کم و تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل به‌دست آمد و از نظر آماری بین تیمار مذکور با تیمار تلقیح قارچ و بدون کاربرد هیدروژل تفاوتی وجود نداشت که نشان‌دهنده عدم تأثیرگذاری قارچ در تیمار آبیاری کم است.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، خیار، کشت گلخانه‌ای، قارچ مایکوریزا

مقدمه

امروزه سیستم‌های کشت بدون خاک می‌توانند راهکار مناسبی برای مبارزه با مشکلات نبود منابع آبی کافی و با کیفیت مناسب باشند، به‌ویژه که کشاورزی در نواحی خشک و نیمه‌خشک با مشکل کمبود آب و آبیاری با آب‌هایی با کیفیت نامناسب روبه‌رو است (۳۰). در پژوهش‌های بسیاری

۱- گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- گروه علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: makhalily@yahoo.com

چنین سیستم‌هایی را برای مدیریت بازسازی و تنظیم کیفیت محلول غذایی بهینه معرفی کرده‌اند که با توجه به اهداف اقتصادی مختلف مانند کیفیت محصول و به‌ویژه عملکرد، انتخاب نوع سیستم و مدیریت تغذیه (۱۸ و ۳۱) و منابع آب (۱۷) می‌تواند راهکار مناسبی باشد. ایران به‌دلیل شرایط خاص آب و هوایی و محدودیت‌های منابع آبی از جمله کشورهایی است که نیازمند تجدیدنظر اساسی در ساختار نظام کشت بوده و در این راستا توسعه کشت‌هایی مانند کشت سیستم بدون خاک می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب مطرح باشد (۲۹).

قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار در سال‌های اخیر برای بهبود شرایط رشدی گیاه در بسیاری از گیاهان گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (۱ و ۲۱). پژوهش‌های متعدد اثبات کرده است که اغلب همزیستی میکوریزایی باعث بهبود جذب آب از خاک می‌شود. قارچ‌های مایکوریزا باعث افزایش سطح جذب در اطراف ریشه شده و به گیاه میزبان کمک می‌کنند تا میزان آب بیش‌تری از خاک جذب کند (۲۸). در پژوهشی در همین زمینه گزارش شد که اثر تلقیح مایکوریزا با خیار گلخانه‌ای بهبود عملکرد خیار را در پی خواهد داشت (۹). در پژوهش دیگری نشان داده شد که همزیستی قارچ مایکوریزا با خیار سبب افزایش عملکرد میوه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه شد (۳). علاوه بر این دانشمندان نشان دادند به‌کارگیری قارچ مایکوریزا گونه *Diversispora versiformis* یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف نهاده‌ها در خیار گلخانه‌ای است (۲۰).

هیدروژل‌ها نیز شبکه‌های پلیمری سه بعدی با پیوندهای عرضی هستند که توانایی جذب آب حتی در مقادیر پتانسیل اسمزی بسیار کم را دارند. این ترکیبات بدون انحلال می‌توانند حتی تا بیش از ۱۰۰۰ برابر جرم پلیمر آب جذب کنند (۱۵). و به‌نظر می‌رسد که استفاده از هیدروژل به‌صورت مخلوط با بستر، به اصلاح ویژگی‌های فیزیکی بستر کمک کرده و از طریق کاهش منافذ درشت (تهویه‌ای) و افزایش منافذ مویین باعث بهبود گنجایش نگهداری آب در بستر شود و به این ترتیب میزان هدرروی آب و عناصر غذایی محلول را در سیستم‌های کشت بدون خاک کاهش دهد (۲۵). در یک پژوهش نشان داده شد که استفاده از هیدروژل از طریق کاهش میزان زهکش و بدون تأثیر بر صفات کیفی میوه خیار گلخانه‌ای سبب افزایش عملکرد، کارایی مصرف آب و کود شد (۱۰). در پژوهش دیگری گزارش شد که عملکرد و کیفیت میوه گوجه فرنگی در کشت بدون خاک با کاربرد پلیمر هیدروژل افزایش می‌یابد (۲۵).

امروزه سیستم‌های کشت بدون خاک می‌توانند راهکار مناسبی برای مقابله با مشکلات منابع آبی محدود و افزایش کارایی مصرف آب قلمداد شوند، که اگر با روش‌هایی کارآمد مانند کاربرد پلیمرهای هیدروژل و قارچ مایکوریزا همراه گردند شاید بتوان بر قابلیت بهبود این کارآیی کمک شایانی کرد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر هیدروژل و قارچ مایکوریزا بر افزایش کارآیی مصرف آب و بهبود عملکرد محصول خیار گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک به اجرا در آمده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز زاهدان اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل حجم آب آبیاری در سه سطح I_1: کم، I_2: متوسط و I_3: نرمال به‌عنوان فاکتور اول، سطوح قارچ مایکوریزا در دو سطح M_0: بدون تلقیح و M_1: تلقیح قارچ مایکوریزی گونه *Rhizophagus intaradices* به‌عنوان فاکتور دوم، و کاربرد هیدروژل در دو سطح H_0: بدون کاربرد و H_1: کاربرد هیدروژل به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد. چگونگی اعمال تیمارهای آبیاری با حجم‌های مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس جدول (۱) نیاز آبی خیار همسو با رشد گیاه افزایش یافت، چرا که در سیستم‌های کشت بدون خاک نمی‌توان از یک مقدار آب ثابت برای کل دوره رشد استفاده کرد. از این‌رو در هر یک از مراحل رشد گیاه حجم آب آبیاری کم، متوسط و نرمال با توجه به مرحله رشد

جدول ۱. مقادیر حجم آب به‌کار برده شده در تیمارهای آبیاری کم، متوسط و نرمال در طول دوره رشد گیاه.

Table 1. Water volumes applied in irrigation treatments of low, moderate and normal during plant growth period.

مرحله رشد گیاه Plant growth stage	دوره رشد گیاه plant growth period (Day)	مقدار آب روزانه Daily irrigation values ($L\ m^{-2}$)		
		کم Low	متوسط Moderate	نرمال Normal
کاشت تا ۲ برگی Planting to 2 leaves	5	15	15	15
۲ برگی تا ۴ برگی 2 leaves to 4 leaves	5	3	3	3
۴ برگی تا گلدهی 4 leaves to flowering	25	5	10	15
گلدهی تا رسیدگی Flowering to ripening	10	10	15	20
رسیدگی تا آخرین برداشت Ripening to the last harvest	15	15	20	25
کل آب مصرفی Total used water	60	540	790	1040

جدول ۲. مشخصات هیدروژل به‌کار رفته در آزمایش.

Table 2. Characteristics of the hydrogel used in the experiment.

هیدروژل Hydrogel	جرم مخصوص Density (g/L)	pH	گنجایش تبادل کاتیونی Cation exchange capacity (cmol/kg)	مقدار جذب آب (نسبت به وزن هیدروژل) Amount of water absorption (Proportional to weight of hydrogel)	میانگین دوره ماندگاری Mean residence time (Year)	سایر ویژگی‌ها Other features
A200	800	7.5	400	200-500	5-6	حاوی هیدروکسید پتاسیم، تری‌کلسیم فسفات و آمونیوم Contains potassium hydroxide, tricalcium phosphate and ammonium

خیار تعیین شد. برای اندازه‌گیری آب ورودی به هر ردیف از کنتور حجمی استفاده شد.

برای هر تیمار یک کارتن پلاست در نظر گرفته شد. به‌طوری که طول هر کارتن پلاست ۱۰ متر، با عرض ۵۰ سانتی‌متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر بود. بستر کارتن پلاست‌ها از پرلیت، کوکوپیت و پیت ماس به‌ترتیب با نسبت حجمی ۲۰، ۵۰ و ۳۰ تشکیل شد. فواصل کارتن پلاست‌ها از یکدیگر نیز یک متر در نظر گرفته شد. در هر کارتن پلاست یک ردیف کاشت انجام گرفت. بدین صورت که بذور در هر ردیف با فاصله روی ردیف ۵۰ سانتی‌متری کشت شد. برای کاشت خیار از رقم هیبرید سینا ۱۸۹ سمینیس تهیه شده از شرکت ایران بذر استفاده شد. خیار تک گل (در هر بند یک تا دو گل)، بوته قوی و رونده، شاخه‌های جانبی زیاد، رنگ سبز تیره و میوه یکنواخت، و طول میوه ۱۹–۱۸ سانتی‌متر از مهم‌ترین ویژگی‌های این رقم محسوب می‌شود. کاشت بذور خیار در تاریخ ۳ مهر ۱۳۹۶ انجام گرفت. در زمان کاشت، مقدار ۵ گرم از گونه قارچ مایکوریزا

جدول ۳. غلظت عناصر غذایی در محلول غذایی هوگلند.

Table 3. Chemical composition of Hoagland nutrient solution.

محلول پایه Base solution	فرمول شیمیایی Chemical formula	محلول هوگلند Hoagland solution	واحد Unit
نیترات کلسیم Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2 .4H_2O$	1181	g/100L
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	KNO_3	505.5	g/100L
آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات Ammonium dihydrogen phosphate	$NH_4(H_2PO_4)$	115	g/100L
سولفات منیزیم Magnesium sulphate	$MgSO_4 .7H_2O$	439	g/100L
اسید بوریک Boric acid	H_3BO_3	2.86	g/L
کلرید منگنز Manganese chloride	$MnCl_2.4H_2O$	1.81	g/L
سولفات روی Zinc sulfate	$ZnSO_4.7H_2O$	0.22	g/L
سولفات مس Copper sulfate	$CuSO_4.5H_2O$	0.08	g/L
اسید مولیبدیک Molybdic acid	$H_2MoO_4.H_2O$	0.02	g/L
کلات آهن Iron chelate		2	mL/L

در مکان کاشت قرار داده شد. این قارچ به فرم پودری توسط شرکت زیست فناور پیشتاز واریان تهیه و تجاری شده است. این محصول حاوی سویه‌های *Rhizophagus intaradices* با شمارش $۲/۲\times۱۰^{۵}$ پروپاگول قارچ در گرم است. از زمان کاشت تا مرحله ۲ برگی به‌منظور تسهیل در جوانه‌زنی و استقرار مطلوب بوته، آبیاری با حجم زیاد انجام گرفت. پس از آن از مرحله ۲ تا ۴ برگی به‌منظور توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه یک دوره تنش به گیاه القاء شد. از مرحله ۴ برگی به بعد نیز اعمال تیمارهای آبیاری انجام گرفت. توزیع آب در ردیف‌های آزمایشی از راه لوله پلاستیکی صورت گرفت. ضمناً از آغاز همین مرحله که همزمان با اعمال تیمارهای آبیاری بود، کاربرد هیدروژل به میزان ۱۵۰ میلی‌گرم برای هر بوته در نظر گرفته شد که در اطراف ریشه گیاه قرار گرفت. در جدول (۲) ویژگی‌های هیدروژل استفاده شده در پژوهش حاضر ارائه شده است.

مصرف محلول غذایی نیز هر روز همراه با آب آبیاری انجام می‌گرفت. بدین صورت که محلول غذایی در بشکه ۲۰۰ لیتری آماده شده و به‌وسیله پمپ و سیستم آبیاری قطره‌ای (لوله پلاستیکی) در اختیار گیاهان قرار داده می‌شد. در جدول (۳) فرمولاسیون محلول غذایی نشان داده شده است. قابل ذکر است فرمول غذایی هوگلند توسط هوگلند و آرنون در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه کالیفرنیا ارائه شده و برای کاشت انواع گیاهان پرورشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳).

در طول دوره رشد گیاه، میانگین دمای شبانه گلخانه ۱۸ درجه سلسیوس و میانگین دمای روزانه آن ۲۷ الی ۳۰ درجه سلسیوس بود و رطوبت نسبی هوای گلخانه بین ۸۰-۶۰ درصد نوسان داشت. برداشت خیار ۴۵ روز پس از کاشت انجام گرفت. برداشت در ۷ چین به‌صورت هر ۲ روز یکبار صورت گرفت. در این آزمایش صفات ارتفاع بوته، تعداد میوه در بوته (در هر چین)، عملکرد نهایی میوه (مجموع عملکرد ۷ چین)،

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر صفات مورد بررسی خیار.

Table 4. Results of variance analysis of effect of irrigation, fungus and hydrogel on studied traits of cucumber.

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی df	Means of square میانگین مربعات						
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد میوه Number of fruits	عملکرد نهایی میوه Final fruit yield	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	محتوی نسبی آب برگ Relative leaf water content	کارآیی مصرف آب Water use efficiency
آبیاری Irrigation	2	9123**	65.41**	117235**	15883**	12684**	1384**	98.25**
قارچ Fungus	1	7983*	42.87*	103944**	11006*	9583*	1022*	56.02*
هیدروژل Hydrogel	1	6608*	73.92*	88005*	9156*	8840*	1572**	107.16*
آبیاری × قارچ Irrigation × Fungus	2	835**	4.15*	61580**	3967**	1376**	544*	12.88*
آبیاری × هیدروژل Irrigation × Hydrogel	2	540*	0.82*	42997**	1021*	819*	199*	1.44*
قارچ × هیدروژل Fungus × Hydrogel	1	219*	0.50*	35083*	895*	601*	103**	0.96*
آبیاری × قارچ × هیدروژل Irrigation × Fungus × Hydrogel	2	93**	0.37*	1788**	302**	186**	73**	0.55*
خطا Error	24	11	0.14	29	14	13	7	0.27
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	4.50	6.91	3.39	4.89	5.02	6.11	7.03

ns، * و **: به ترتیب نبود تاثیر معنی‌دار و اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non-significant effect and significant effect at 5 and 1% probability levels, respectively.

وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، محتوی نسبی آب برگ و کارآیی مصرف آب مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه وزن خشک اندام هوایی و ریشه پس از پایان دوره رشد گیاه (پس از برداشت چین هفتم) بوته‌ها به‌طور کامل از کارتن پلاست خارج شده و قسمت ریشه از اندام هوایی جدا شد و پس از قرارگیری در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت به‌منظور محاسبه وزن خشک توزین شدند. محتوی نسبی آب برگ از رابطه (۱) محاسبه شد (۲۶):

[وزن تازه برگ (g)] = محتوی نسبی آب برگ

[وزن خشک برگ (g) –

[۱] ۱۰۰ × [وزن خشک برگ (g) – وزن آماس برگ (g)] /

برای محاسبه کارآیی مصرف آب گیاه نیز از رابطه (۲) استفاده شد (۱۷):

= کارآیی مصرف آب (g/L)

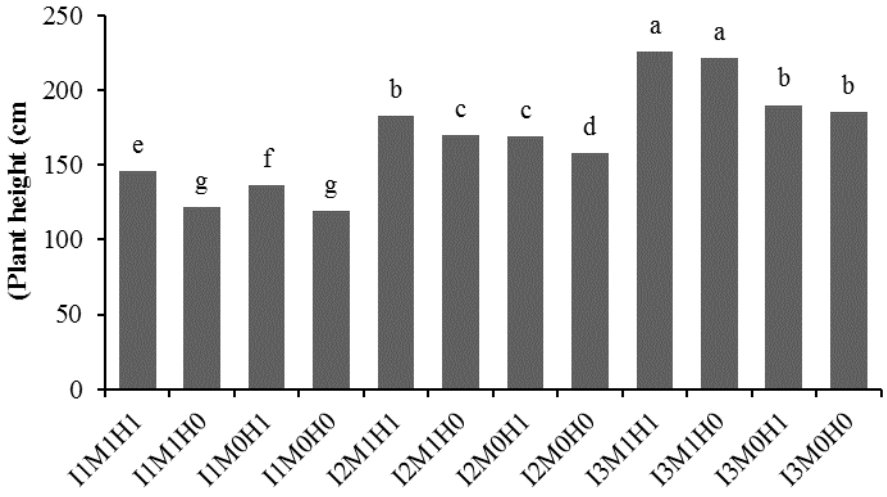
[میانگین عملکرد نهایی میوه در هر بوته (g)]

[۲] [میانگین حجم آب مصرفی هر بوته (L)]/

در نهایت داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه آماری شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل، و اثر برهمکنش این فاکتورها بر طول بوته خیار معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارها نشان داد بیش‌ترین طول بوته خیار از تیمار آبیاری نرمال همراه با کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_3M_1H_1$) و

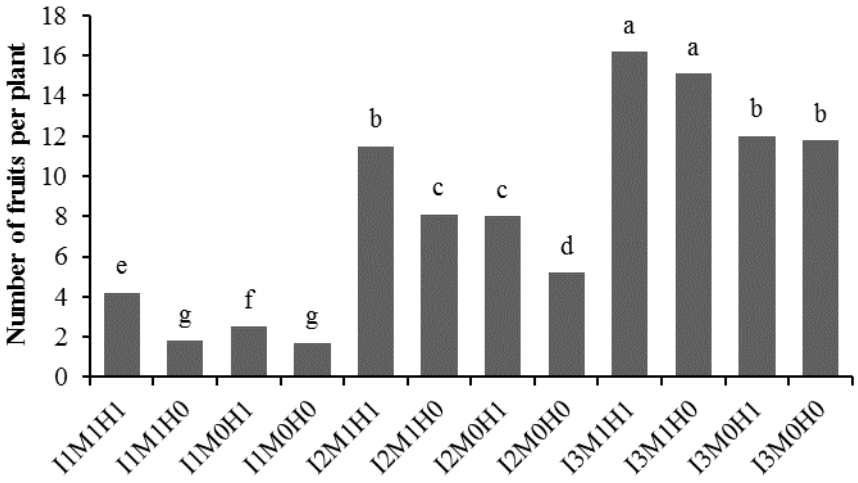


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر ارتفاع بوته؛ I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

Fig. 1. Interaction effect of irrigation, fungus and hydrogel on plant height; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of fungus, respectively, and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.

تیمار آبیاری نرمال و تلقیح قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_3M_1H_0$) به‌دست آمد. بین دو تیمار فوق با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود داشت. غیرمعنی‌دار شدن تیمار آبیاری کامل با کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_3M_0H_1$) و آبیاری کامل و بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_0$) بیانگر عدم تأثیر هیدروژل بر جذب آب توسط گیاه در تیمار آبیاری نرمال (شرایط بدون تنش) است (شکل ۱). اما نتایج در آبیاری متوسط حکایت از تأثیر بیش‌تر هیدروژل بر رشد طولی بوته خیار داشت. به‌طوری که بین تیمار کاربرد قارچ مایکوریزا و بدون استفاده از هیدروژل ($I_2M_1H_0$) با تیمار کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_2M_0H_1$) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. علاوه بر این در شرایط آبیاری متوسط، بیش‌ترین ارتفاع بوته از تیمار کاربرد توأم قارچ مایکوریزا و هیدروژل ($I_2M_1H_1$) حاصل شد ولی تفاوت آماری معنی‌داری بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل و بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_0$) مشاهده نشد (شکل ۱). نتایج در آبیاری کم نیز نشان داد که هیدروژل در مقایسه با قارچ تأثیر به‌مراتب بیش‌تری بر افزایش ارتفاع بوته خیار داشت. در این تیمار آبیاری بیش‌ترین ارتفاع بوته از کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_1M_1H_1$) و کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_1M_0H_1$) به‌دست آمد. کم‌ترین میزان طول بوته خیار نیز با میانگین ۱۱۹/۳ سانتی‌متر از تیمار آبیاری کم و بدون کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_1M_0H_0$) حاصل شد (شکل ۱).

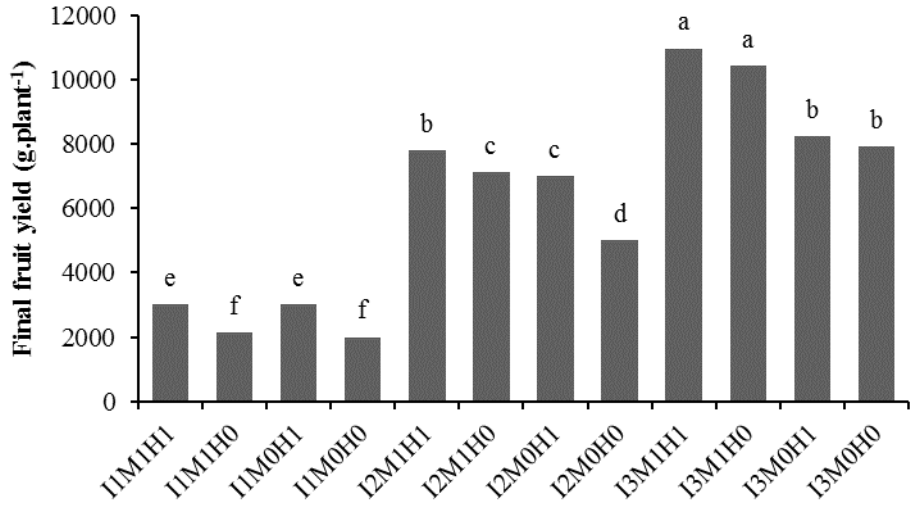
نتایج تجزیه واریانس برای صفت تعداد میوه در بوته هم نشان داد که حجم آب آبیاری، قارچ ، هیدروژل و اثر برهمکنش فاکتورها بر صفت تعداد میوه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش فاکتورها، نتایجی مشابه با ارتفاع بوته برای تعداد میوه در بوته نیز به‌دست آمد. به‌طوری که بیش‌ترین تعداد میوه در هر چین از تیمار آبیاری نرمال همراه با کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_3M_1H_1$) و تیمار آبیاری نرمال و تلقیح قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_3M_1H_0$) حاصل شد. کم‌ترین تعداد خیار در هر چین نیز با میانگین ۱/۷ میوه در بوته از تیمار آبیاری کم و بدون کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_1M_0H_0$) به‌دست آمد (شکل ۲). در واقع نتایج به‌دست آمده برای این صفت نشان‌دهنده یک ارتباط مستقیم بین طول بوته و تعداد میوه در هر بوته است.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر تعداد میوه در بوته؛ I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ مایکوریزا، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

Fig. 2. Interaction effect of irrigation, fungus and hydrogel on number of fruits per plant; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of fungus, respectively, and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.

برای صفت عملکرد نهایی میوه نیز نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آبیاری، قارچ، هیدروژل و اثر برهمکنش فاکتورها تأثیر معنی‌داری بر صفت عملکرد نهایی میوه داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش فاکتورها بیانگر آن بود که مشابه با دو صفت بررسی شده پیشین بیش‌ترین عملکرد نهایی میوه با میانگین ۱۰۹۷۸/۳ گرم در بوته از تیمار آبیاری نرمال همراه با کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_3M_1H_1$) حاصل شد. در شرایط آبیاری نرمال کاربرد قارچ سبب بهبود عملکرد نهایی میوه گیاه شد، به‌طوری که استفاده از قارچ در شرایط آبیاری کامل و بدون استفاده از هیدروژل ($I_3M_1H_0$) سبب افزایش ۲۱/۱۸ و ۲۴/۲۱ درصدی عملکرد نهایی میوه خیار به‌ترتیب در مقایسه با تیمارهای آبیاری کامل و کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_1$) و آبیاری کامل بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_0$) شد. در شرایط آبیاری کامل، کاربرد هیدروژل تأثیری بر عملکرد نهایی میوه نداشت، به‌طوری که تیمارهای آبیاری کامل و کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_3M_0H_1$) با تیمار آبیاری کامل و بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_0$) تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). در شرایط آبیاری متوسط نیز نتایج نشان داد که استفاده توأم از قارچ و هیدروژل ($I_2M_1H_1$) منجر به حصول بیش‌ترین عملکرد در این تیمار آبیاری شد. به‌طوری که حتی بین این تیمار ($I_2M_1H_1$) با تیمار آبیاری کامل و بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_0$) تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد. علاوه بر این در شرایط آبیاری متوسط بین تیمارهای کاربرد قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_2M_1H_0$) و کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_2M_0H_1$) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). اما در شرایط استفاده از آبیاری کم بیش‌ترین میزان عملکرد نهایی میوه از تیمار کاربرد هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_1M_0H_1$) و تیمار استفاده توأم از قارچ و هیدروژل ($I_1M_1H_1$) حاصل شد. از نظر عملکرد نهایی میوه بین تیمارهای فوق با تیمارهای آبیاری کم و کاربرد قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_1M_1H_0$) و آبیاری کم بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_1M_0H_0$) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. علاوه بر این در شرایط آبیاری کم بین تیمار کاربرد قارچ مایکوریزا و بدون استفاده از هیدروژل ($I_1M_1H_0$) و تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_1M_0H_0$) تفاوت آماری معنی‌داری

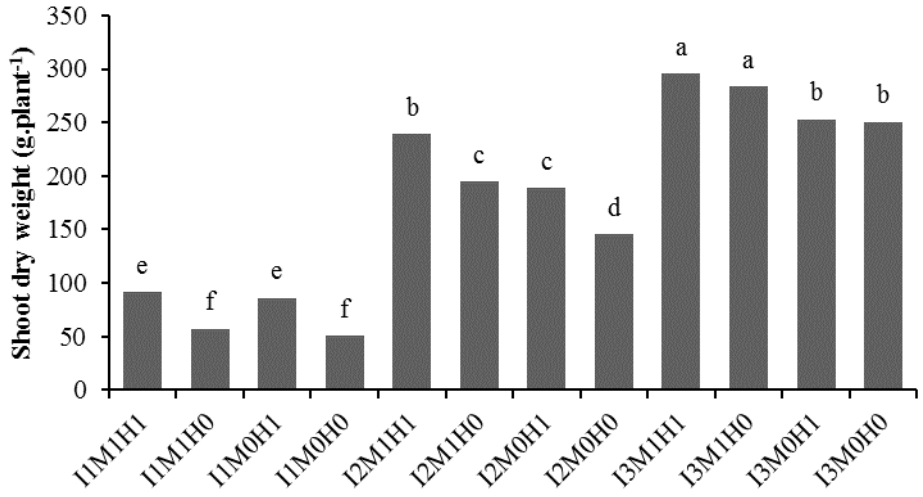


شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ مایکوریزا و هیدروژل بر عملکرد نهایی میوه؛ I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ مایکوریزا، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

Fig. 3. Interaction effect of irrigation, fungi and hydrogel on final fruit yield; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of mycorrhizal fungus, respectively; and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.

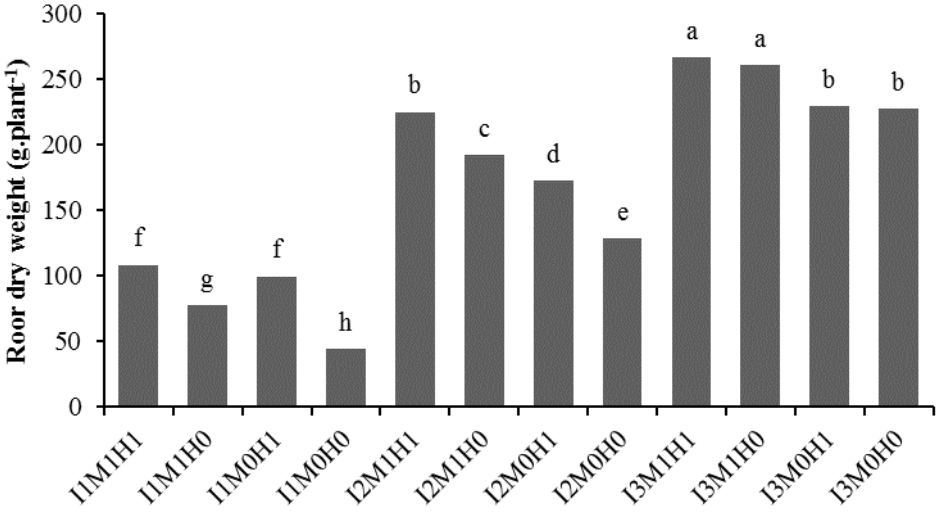
وجود نداشت که در واقع بیانگر عدم کارآیی استفاده از این قارچ‌ها در شرایط تنش آبی است (شکل ۳).

آبیاری، قارچ، هیدروژل و اثر برهمکنش فاکتورها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارها نشان داد که تیمار آبیاری نرمال همراه با کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_3M_1H_1$) با تیمار تیمار آبیاری نرمال و تلقیح قارچ مایکوریزا و بدون استفاده از هیدروژل ($I_3M_1H_0$) از نظر تأثیر بر وزن خشک اندام هوایی در یک سطح آماری قرار گرفتند و نسبت به سایر تیمارها در این تیمار آبیاری به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بودند. در مقادیر آبیاری نرمال، قارچ مایکوریزا بیش‌ترین تأثیر را بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه داشت به‌طوری که در شرایط آبیاری نرمال استفاده از قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_3M_1H_0$) سبب افزایش ۱۱/۵۶ و ۱۲/۸۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه در مقایسه با تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_3M_0H_0$) شد (شکل‌های ۴ و ۵). در شرایط آبیاری متوسط نیز استفاده از قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_2M_1H_0$) افزایش ۲۷/۸۶ و ۳۲/۹۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه را در مقایسه با تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_2M_0H_0$) منجر شد. همچنین در شرایط آبیاری متوسط استفاده از هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_2M_0H_1$) سبب افزایش ۲۲/۸۸ و ۲۵/۴۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه در مقایسه با تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_2M_0H_0$) شد (شکل‌های ۴ و ۵). قارچ تأثیری بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط آبیاری کم نداشت. اما برخلاف قارچ با کاهش حجم آب آبیاری تأثیر کاربرد هیدروژل بر افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه بیش‌تر شد به‌طوری که در این تیمار آبیاری استفاده از هیدروژل و بدون استفاده از قارچ ($I_1M_0H_1$) افزایش ۳۳/۷۵ و ۴۱/۶۴ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه را در مقایسه با تیمار استفاده از قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_2M_1H_0$)، و افزایش ۲۲/۰۸ و ۵۵/۵۲ درصدی را در مقایسه با تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل ($I_1M_0H_0$) سبب شد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر وزن خشک اندام هوایی، I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

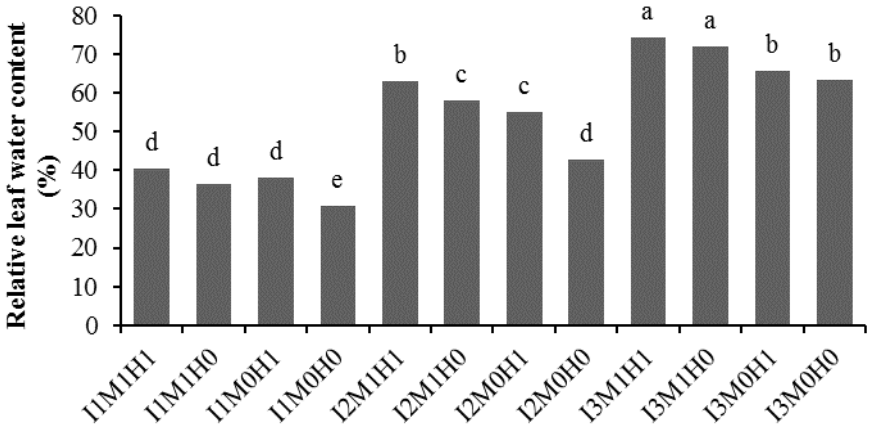
Fig. 4. Interaction effect of irrigation, fungus and hydrogel on shoot dry weight; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of fungus, respectively, and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر وزن خشک ریشه؛ I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

Fig. 5. Interaction effect of irrigation, fungus and hydrogel on root dry weight; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of fungus, respectively, and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.

اثر سطوح آبیاری، قارچ، هیدروژل و اثر برهمکنش فاکتورها بر محتوی نسبی آب برگ و کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر برهمکنش فاکتورها نشان داد که با افزایش حجم آب آبیاری به‌ویژه در تیمارهایی که قارچ و هیدروژل استفاده شده بود محتوی نسبی آب برگ افزایش یافت. به‌طوری که در تیمارهای آبیاری نرمال و کم به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان محتوی نسبی آب برگ حاصل شد. تیمار آبیاری متوسط نیز از نظر آماری حد واسط این دو تیمار



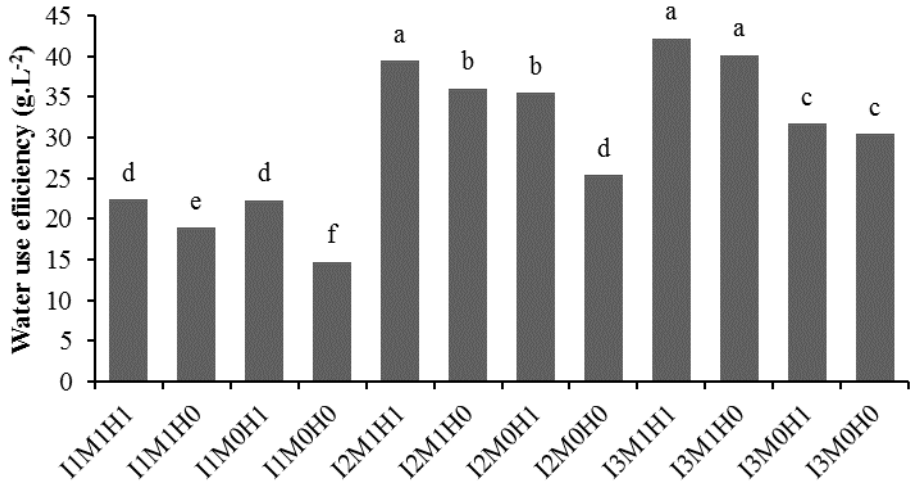
شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر محتوی نسبی آب برگ؛ I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

Fig. 6. Interaction effect of irrigation, fungus and hydrogel on relative leaf water content; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of fungus, respectively, and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.

قرار گرفت. همچنین استفاده از قارچ و هیدروژل در تمامی سطوح کم، متوسط و نرمال آبیاری منجر به افزایش محتوی نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار بدون استفاده از قارچ و هیدروژل در همان سطح از آبیاری شد (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش فاکتورها برای کارآیی مصرف آب نیز نشان داد که بیشترین کارآیی مصرف آب از تیمار آبیاری نرمال همراه با کاربرد قارچ و هیدروژل با میانگین ۴۲/۲۲ گرم بر لیتر حاصل شد. بین این تیمار با تیمارهای آبیاری نرمال همراه با تلقیح قارچ و بدون استفاده از هیدروژل ($I_3M_1H_0$) و آبیاری متوسط همراه با کاربرد قارچ و هیدروژل ($I_2M_1H_1$) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین کارآیی مصرف آب نیز در تیمار آبیاری کم و بدون کاربرد قارچ و هیدروژل با میانگین ۱۴/۷۴ گرم بر لیتر به‌دست آمد (شکل ۷).

بحث

قارچ مایکوریزا دارای گونه‌های متعددی است که از گونه *Rhizophagus intaradices* استفاده زیادی در کارهای پژوهشی شده است (۵، ۱۲ و ۲۳). پژوهش‌ها نشان داده است که اغلب همزیستی مایکوریزایی باعث جذب بهتر آب از خاک می‌شود. قارچ‌های مایکوریزا باعث افزایش سطح جذب در اطراف ریشه می‌شوند که به گیاه میزبان کمک می‌کنند تا میزان آب بیش‌تری از خاک جذب کند (۲۸). تیان و همکاران (۳۲) بهبود هدایت هیدرولیکی ریشه را عاملی مؤثر در بهبود رشد گیاهان در اثر کاربرد قارچ مایکوریزا ذکر کردند. در پژوهش دیپیکا و کوتاماسی (۸) اشاره شد که قارچ‌های مایکوریزا از طریق گسترش ریسه‌های قارچی، ایجاد تعادل اسمزی و حفظ فشار تورمی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین و افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر رشد بهتر اندام هوایی و عملکرد گیاهان را منجر می‌شوند. آگه و همکاران (۴) به بررسی نقش همزیستی مایکوریزایی بر هدایت روزنه‌ای و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک تعدادی از گیاهان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که همزیستی قارچی مایکوریزا با گیاهان سبب توسعه سیستم ریشه گیاه، افزایش تعرق، افزایش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و همچنین موازنه هورمونی در گیاه می‌شود. در آزمایشی دیگر که با هدف همزیستی قارچ مایکوریزا با گوجه فرنگی و در شرایط گلخانه‌ای به اجرا رسید، نتایج نشان داد که همزیستی سبب افزایش ۳۰/۸۶ و ۱۹/۰۵ درصدی ارتفاع بوته و وزن ریشه گیاه در مقایسه با تیمار عدم استفاده از قارچ



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری، قارچ و هیدروژل بر کارآیی مصرف آب؛ I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل آبیاری کم، متوسط و نرمال، M_0 و M_1 به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون تلقیح و با تلقیح قارچ، و H_0 و H_1 به‌ترتیب بیانگر بدون کاربرد و کاربرد هیدروژل است.

Fig. 7. Interaction effect of irrigation, fungus and hydrogel on water use efficiency; I_1, I_2 and I_3 are equivalent to low, moderate and normal irrigation, respectively, M_0 and M_1 indicate no inoculation and inoculation of fungus, respectively, and H_0 and H_1 stand for no application and application of hydrogel, respectively.

شده است. در این پژوهش افزایش پارامترهای رشدی گیاه به بهبود جذب آب و عناصر غذایی نسبت داده شد (۲۲). محمودزاده و همکاران (۱۹) نشان دادند که تلقیح نعناع فلفلی با قارچ مایکوریزا در شرایط گلخانه سبب افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، طول شاخه جانبی، افزایش وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و غلظت کلسیم، پتاسیم و منیزیم اندم هوایی در مقایسه با تیمار بدون استفاده از قارچ می شود. این پژوهشگران اشاره کردند که تیمارهای قارچی از طریق گسترش هیف و توسعه سیستم ریشه، سطح جذب آب بیشتر برای گیاه و به‌دنبال آن جذب بیش‌تر مواد غذایی سبب بهبود صفات فوق می‌شوند. در پژوهشی دیگر بر روی گیاه رزماری و در شرایط گلخانه مشاهده شد که تلقیح گیاه با قارچ مایکوریزا سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی می‌شود. پژوهشگران عامل اصلی افزایش وزن خشک را افزایش غلظت کلروفیل (قرائت شده توسط دستگاه SPAD) و فتوسنتز گیاه اعلام کردند (۵). در آزمایشی دیگر که در شرایط گلخانه‌ای و بر روی سیب‌زمینی اجرا شد نتایج نشان داد که در تیمارهای مایکوریزایی در مقایسه با تیمارهای غیرمایکوریزایی تعداد ریزغده افزایش پیدا کرد و در مجموع در تولید تعداد ریزغده و درصد ماده خشک سیب‌زمینی، تفاوتی بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۵ درصد رطوبت گنجایش زراعی خاک وجود نداشت. محققان علت این نتایج را چنین گزارش کردند که قارچ مایکوریزا در شرایط کم‌آبی با افزایش سنتز هورمون‌های رشد و به‌ویژه سیتوکینین و همچنین افزایش سطوح پلی-آمین‌ها اثری دو جانبه در افزایش کارآیی فتوسنتز و تعدیل اثرات کم‌آبی و در نتیجه افزایش عملکرد در گیاه سیب-زمینی دارند (۲۷). در بررسی کارآیی قارچ مایکوریزا در شرایط تنش نیز مشاهده شد که تنش رطوبتی شدید به‌دلیل کاهش رطوبت در دسترس و منابع غذایی کافی برای قارچ مایکوریزا، منجر به کاهش فعالیت آن در محیط ریشه گیاه می‌شود (۳۲). در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد که در آبیاری کم بر خلاف تیمارهای آبیاری نرمال و متوسط اثر قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های رشدی گیاه ناچیز بود.

هیدروژل‌های سوپرجاذب با جذب آب و تا حدودی، عناصر غذایی و همچنین انقباض و انبساط متناوب باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند که در نهایت

منجر به افزایش تولید محصول خواهد شد (۲). در همین زمینه نتایج یک پژوهش نشان داد که استفاده از ۴ گرم هیدروژل در هر کیلوگرم خاک در یک خاک درشت‌بافت و در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) بهترین عملکرد و کارآیی کاربرد آب، کود و کیفیت محصول خیار در شرایط گلخانه حاصل می‌شود (۲). یکی از مهم‌ترین مزایای کاربرد هیدروژل، جلوگیری از نفوذ عمقی آب محیط ریشه و شستشوی املاح است. برای مثال زینی وند و همکاران (۳۳) در آزمایش بررسی اثر هیدروژل بر عملکرد خیار و تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند که هیدروژل قادر است با جذب و نگه‌داشت آب از کاهش معنی‌دار عملکرد خیار در شرایط تنش خشکی و بافت درشت شنی جلوگیری کند. بهبهانی و همکاران (۶) با کاربرد مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی هیدروژل در بستر رشد خیار گلخانه‌ای (ترکیبی از کوکوبیت و پرلیت) و اعمال تیمارهای آبیاری ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، میزان عناصر غذایی روی، منگنز، آهن، نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم، تبادل کاتیونی و pH را در بستر گیاهان، اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها نشان داد که هیدروژل در ذخیره‌سازی عناصرغذایی، بیش‌ترین تأثیر را در ذخیره سازی فسفر و نیتروژن و کم‌ترین تأثیر را در نگهداری منگنز داشت. میزان تبادل کاتیونی در بستر تیمار شده با ۳۰ درصد جایگزینی هیدروژل، ۹۴ درصد بیش‌تر از شاهد بود. در پژوهش دیگری اثر نگهداشت نیترات و آمونیوم روی هیدروژل افزوده شده به محیط رشد بدون خاک در گیاه گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نگهداری آب به‌وسیله محیط رشد با به کار بردن هیدروژل به‌صورت خطی، افزایش می‌یابد (۷). در آزمایشی دیگر بر روی خیار و در شرایط گلخانه نتایج نشان داد که استفاده از هیدروژل در رژیم‌های مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی) بیش‌ترین کارایی عملکرد میوه و کارآیی مصرف آب را در تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی بروز می‌دهد. این مسئله بدین صورت تفسیر شد که در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نگهداشت آب بیش از نیاز گیاه اثر معکوس بر تنفس ریشه گیاهان داشته است و به این ترتیب با کاهش آبیاری به ۸۵ درصد، میزان محصول افزایش یافت (۱۱). در بررسی کارآیی مصرف آب و کود در کشت بدون خاک گوجه فرنگی گلخانه‌ای در شرایط تنش خشکی و کاربرد هیدروژل انجام شد نتایج نشان داد که گیاهانی که تحت تیمار تنش خشکی قرار گرفته‌اند نسبت به آبیاری کامل عملکرد کم‌تری داشته‌اند اما کارایی مصرف آب و کود آن‌ها بهبود یافت. اختلاط هیدروژل با بستر که سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی بستر و افزایش قدرت نگهداری آن می‌شود موجب شد که آب و کود با دسترسی بهتری در اختیار ریشه قرار گیرند و موجب افزایش عملکرد و بهبود کارایی مصرف آب و کود شود. اثر هیدروژل بر کارآیی مصرف آب و کود در گیاهان تحت تیمار کم‌آبیاری نقش بهتری نسبت به گیاهان تحت آبیاری کامل داشت (۲۴). خلیلی و همکاران (۱۷) در آزمایشی گلخانه‌ای و در شرایط کشت بدون خاک نشان دادند که با افزایش حجم آب آبیاری، کارآیی مصرف آب گوجه فرنگی افزایش می‌یابد. این پژوهشگران اعلام کردند که افزایش بیش‌تر صورت کسر (یعنی عملکرد میوه) در مقایسه با مخرج کسر (یعنی آب مصرفی) سبب افزایش کارآیی مصرف آب گیاه شده است. هوشمند و همکاران (۱۴) در پژوهشی دو سطح آبیاری ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه را بر کارآیی مصرف آب گوجه فرنگی در شرایط کشت بدون خاک سنجیدند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین کارآیی مصرف آب گیاه گوجه فرنگی در تیمار ۸۵ درصد نیازی آبی گیاه حاصل شد. در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد با کاهش حجم آب آبیاری کارآیی مصرف آب گیاه نیز کاهش می‌یابد که دلیل اصلی آن افت شدید عملکرد میوه گیاه است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی از مباحث عنوان شده چنین نتیجه‌گیری شد که کاهش حجم آب آبیاری سبب کاهش رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک می‌شود. اما کاربرد قارچ مایکوریزا و هیدروژل تا حدود بسیار زیادی خسارت‌های ناشی

از کاهش کم‌آبی را جبران کرده و سبب بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد خیار می‌شود، به‌طوری که تنها در مورد عملکرد میوه خیار که جزء اقتصادی محصول محسوب می‌شود. استفاده توأم قارچ مایکوریزا و هیدروژل در حجم آب آبیاری متوسط عملکردی برابر با عملکرد میوه در حجم آب آبیاری نرمال اما بدون استفاده از قارچ و هیدروژل حاصل می‌کند. همچنین در این آزمایش مشخص شد که کاربرد قارچ مایکوریزا بیش‌ترین کارایی را در شریط آبیاری نرمال و متوسط دارد و استفاده از این قارچ در شرایط کم‌آبیاری اثربخش نیست. اما در مقابل هیدروژل از بهترین کارآیی در شرایط آبیاری متوسط و کم برخوردار بود و به‌کارگیری آن در شرایط آبیاری نرمال چندان بر عملکرد گیاه تأثیرگذار نخواهد بود. با توجه به نتایج آزمایش پیشنهاد می‌شود که در شرایط کشت بدون خاک درصورتی که محدودیت منابع آب وجود داشته باشد، در راستای کاهش مصرف آب می‌توان با به‌کارگیری توام قارچ میکوریز و هیدروژل در شرایط آبیاری متوسط، مقدار محصولی معادل با شرایط آبیاری نرمال و بدون استفاده از قارچ و هیدروژل تولید کرد. در صورت عدم محدودیت منابع آب، برای رسیدن به بیشترین تولید خیار، می‌توان شرایط آبیاری نرمال و استفاده از قارچ مایکوریزا در دستور کار قرار گیرد.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر اویسی ریاست محترم دانشگاه پیام نور استان سیستان و بلوچستان برای احداث گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز زاهدان و حمایت از پروژه‌های تحقیقاتی این دانشگاه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abedi, N., Golchin, A., Shafiei, S., Besharati, H., 2018. The effect of inoculation with arbuscular mycorhizal fungi on yield and quality of potato under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 49(2): 395–406. (in Persian with English abstract)
2. Abedi Koupai, J., Mesforoush, M., 2009. Evaluation of superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus*). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(3): 100–111. (in Persian with English abstract)
3. Aljawasim, B.D., Khaeim, H.M., Manshood, M.A., 2020. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) as potential biocontrol agents against damping-off disease *Rhizoctonia solani* on cucumber. *Journal of Crop Protection* 9(1): 141–147.
4. Auge, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza* 25(1): 13–24.
5. Bagheri, A., Siroosmehr, A.R., Asgharipour, M.R., Foroozandeh, M., 2015. Effect of arbuscular mycorrhiza fungus and phosphorus fertilizer on some characteristics of rosemary in greenhouse conditions. In: The Second Conference of Biology and Horticulture of Iran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
6. Behbahani, M., Asadzadeh, A., Jebeli, J., 2005. Evaluation of the effect of superabsorbent hydrogels and low irrigation treatments on the storage of nutrients in hydroponic bed. In: The Third Training Course and Specialized Seminar on The Use of Superabsorbent Hydrogels, Iranian Polymer and Petrochemical Research Institute. (in Persian with English abstract)
7. Bres, W., Weston, L.A., 1993. Influence of gel additives on nitrate, ammonium, water retention and tomato growth in a soilless medium. *Horticulture Science* 26: 1005–1007.
8. Deepika, S., Kothamasi, D., 2015. Soil moisture-a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. *Mycorrhiza* 25(1): 67–75.
9. Dehestani, M., Haghighatnia, H., 2015. Effect of inoculation of arbuscular mycorrhiza fungus and seed priming with salicylic acid on greenhouse cucumber (*Cucumis sativus*) yield under different salinity stresses. The First National Conference on New Achievements in Life Sciences and Agriculture, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
10. Delshad, M., Ahrar, M., Babalar, M., 2011. Effect of hydrogel amendment into soilless media on growth, yield and fruit quality of grafted and non-grafted greenhouse cucumber. *Iranian Journal of Horticultural Science* 4(1): 21–29. (in Persian with English abstract)

11. El-Hady, O.A., Wanas, S.A., 2006. Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acrylamide hydrogels. *Journal of Applied Science Research* 2: 1293–1297.
12. Hernández-Sebastià, C., Piché, Y., Desjardins, Y., 1999. Water relations of whole strawberry plantlets in vitro inoculated with *Glomus intraradices* in a tripartite culture system. *Plant Science* 143(1): 81–91.
13. Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plant without soil. California Agriculture Experimental Station Circular 347: 1–32.
14. Hooshmand, M., Boroumand, S., Albaji, M., Alamzadeh Ansari, N., 2019. Effect of different management methods of low-irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato in hydroponic culture. *Iranian Water Researches Journal* 13(3): 78–91. (in Persian with English abstract)
15. Jamshidi, H., 2017. An overview of hydrogels: types, methods, preparations and applications. *Iran Polymer Technology; Research and Development* 2(2): 37–54. (in Persian with English abstract)
16. Kadenyeka, M.V., Omutimba, D., Harriet, N., 2013. Urban agriculture livelihoods and household food security: A case of Eldoret, Kenya. *Journal of Agricultural and Biological Science* 8: 90–96.
17. Khalili, M., Shahraki, S., Piri, I., Tavassoli, A., Naghavi, M.R., 2021. Effect of irrigation levels and micronutrients on growth and yield of cherry tomato in hydroponic culture. *Journal of Soil and Plant Interactions* 12(1): 17–34. (in Persian with English abstract)
18. Kiani, S., 2020. Effect of different nutrient solutions on the yield, chemical composition and nitrate accumulation of lettuce in soilless culture system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 11(2): 1–13. (in Persian with English abstract)
19. Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M., Asgari Lajayer, H., 2016. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha pipperita* L.) under greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 6(4): 155–168. (in Persian with English abstract)
20. Marzizadeh, A., Bolandnazar, S., Hajilou, J., 2020. The effect of two commercial rootstocks pumpkin and two mycorrhizal fungi species colonization on growth and yield of greenhouse cucumber. *Agricultural Science and Plant Sustainable* 30(2): 129–143. (in Persian with English abstract)
21. Mohammadi, Z., Naseri, L., Barin, M., 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi symbiosis and culture media on establishment and growth of micropropagated MM106 apple rootstock. *Iranian Journal of Horticultural Science* 47(2): 287–296. (in Persian with English abstract)
22. Moosavian, M., Bazgir, E., Drikvand, F., 2018. Effect of mycorrhizal agent resistance of tomato plant against *Alternaria solani*. *Journal of Plant Research* 31(2): 415–426. (in Persian with English abstract)
23. Mota, I., Sánchez-Sánchez, J., Pedro, L.G., Sousa M.J., 2020. Composition variation of the essential oil from *Ocimum basilicum* L. cv. Genovese Gigante in response to *Glomus intraradices* and mild water stress at different stages of growth. *Biochemical Systematics and Ecology* 90: 104021.
24. Mousavi Rahimi, M., Delshad, M., Liaghat A., Rahmatian, A., 2014a. Improving water/fertilizer use efficiency of hydroponically cultured greenhouse tomato by partial root zone drying, deficit irrigation and hydrogel amendment. *Iranian Journal of Horticultural Science* 45(2): 175–184. (in Persian with English abstract)
25. Mousavi Rahimi, M., Delshad, M., Liaghat A., 2014b. Evaluation of yield and fruit quality of hydroponically cultured greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L., Cv. Synda) under partial root zone drying (PRD) conditions. *Journal of Plant productions* 37(3): 27–36. (in Persian with English abstract)
26. Nikbakht, J., Mohammadi, E., Barzegar, T., 2020. Effect of salicylic acid foliar application under deficit irrigation conditions on yield and water use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* cv. Kish F1). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 51(3): 553–561. (in Persian with English abstract)
27. Parvizi, K., Parvizi, Y., Navaei, A., 2017. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus (*Rhizophagus irregularis*) inoculation in different levels of water deficit on minituber production in potato. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)* 40(3): 15–26. (in Persian with English abstract)
28. Sanayei, S., Barmaki, M., Ebadi Khazine Gadim, A., Torabi Giglou, M., 2020. Effect of drought stress and inoculation of mycorrihizal fungi and *Pseudomonas* spp. on some morpho-physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdaeiffa* L.). *Agricultural Science and Plant Sustainable* 30(2): 71–89. (in Persian with English abstract)
29. Shiravand, D., Kamaliazadeh, M., Rostami, F., 2010. *Principles of Hydroponic Culture*. Sarava Press, Tehran, 224 pp. (in Persian with English abstract)
30. Son, J.E., Kim, H.J., Ahn, T.I., 2020. Hydroponic systems. In: Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (Eds.), Plant Factory. Academic Press, Cambridge, pp. 213–221.
31. Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadian, A., 2010. Effect of Mn and Zn consumption on fruit yield and nutrients content in greenhouse tomato in hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1(1): 1–6. (in Persian with English abstract)

32. Tian, M., Chen, Y.L., Li, M., Liu, R.J., 2013. Structure and function of arbuscular mycorrhiza: a review. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 24(8): 2369–2376.
33. Zinivand, N., Khodadadi Dehkordi, D., Kashkuli, H.A., Asareh, A., Egdernezhad, A., 2020. The effect of A300 hydrogel superabsorbent on cucumber yield and estimation of optimum water-yield production function under water stress conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 51(1): 41–67. (in Persian with English abstract)

The Role of Mycorrhizal Fungus (*Rhizophagus intaradices*) and Hydrogel on Yield and Water Use Efficiency of Cucumber in Hydroponic Culture Conditions

M. Khalili[1*], A. Tavassoli[1] and M. Dadmehr[2]

(Received: 12 July 2021; Accepted: 1 September 2021)

Abstract

Due to high production and good economic income, greenhouse cultures are growing. Therefore, it is necessary to find methods that increase yield and water use efficiency in greenhouse conditions. Use of mycorrhiza fungi and hydrogel can be suggested in this regard. A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with 3 replications in the greenhouse of Payame Noor University of Zahedan center in 2017-2018. The first experimental factor included irrigation at three levels of low, moderate and normal with 540, 790 and 1040 liters of water per square meter, respectively. The second factor consisted of mycorrhizal fungus at two levels of inoculation and no inoculation. Hydrogel treatment at two levels was considered as the third factor. The results showed that under normal irrigation conditions and combined application of fungus and hydrogel, the highest plant height, number of fruits per plant, final fruit yield, dry weight of shoot and root, relative leaf water content and water use efficiency were obtained. For the above traits, no significant difference was observed between this treatment and treatment of normal irrigation and fungal inoculation and without hydrogel application. At moderate irrigation condition, the highest values of the mentioned traits were obtained from the combined treatment of fungus and hydrogel and the yield obtained from this treatment was not significantly different from the one at normal irrigation condition without the use of fungus and hydrogel. At low irrigation condition, the highest values of the studied traits were obtained from combined treatment fungus and hydrogel and also application of hydrogel without the use of fungus. The lowest values of the studied traits in this experiment were obtained at low irrigation treatment without the use of fungus and hydrogel. At low irrigation condition, there was no significant difference between the two treatments of fungal application without the use of hydrogel and lack of fungal application which indicates that the fungus is not effective at low irrigation condition.

Keywords: Consumed water, Cucumber, Greenhouse culture, Mycorrhizal fungus

Background and Objective: Due to the changes in climatic conditions and limitations of water resources, Iran is one of the countries that need a fundamental revision in the structure of the crop cultivation systems (1). In this regard, the development of systems such as hydroponic cultivation may be considered a suitable

1- Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran
* Corresponding Author, Email: makhalily@yahoo.com

alternative (4). Hydroponic cultivation systems may increase water use efficiency (2) and if combined with the use of hydrogel polymers (1) and mycorrhizal fungi (3), it may further improve this efficiency. Therefore, this study was conducted to investigate the effect of hydrogel and mycorrhizal fungi on water use efficiency the yield of greenhouse cucumber in hydroponic cultivation.

Methods: The experiment was conducted in a greenhouse according to a factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications. Treatments included irrigation at three levels: low, moderate and normal as the first factor, levels of mycorrhizal fungus at two levels of inoculation and no inoculation as the second factor, and application of hydrogel at two levels of no application and application of hydrogel as the third factor. In this experiment, traits of plant height, number of fruits per plant, final fruit yield, shoot and root dry weights, relative leaf water content and water use efficiency were studied. The data obtained from the experiment were analyzed using SAS software version 9.4 and the means were compared using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

Results: The results showed that the highest plant height, number of fruits per plant, final fruit yield, shoot and root dry weights, relative leaf water content and water use efficiency were obtained at normal irrigation condition with combined application of mycorrhizal fungus and hydrogel, and there was no significant difference between this treatment with the one at normal irrigation condition when fungus was used without hydrogel. The lowest values for the above traits were obtained at low irrigation condition without the use of fungi and hydrogel.

Conclusions: In general, reducing the irrigation water volume resulted in reduction of the growth and yield of greenhouse cucumbers in hydroponic cultivation. However, the use of mycorrhiza fungi and hydrogel could improve root zone water retention and prevented the damage caused by low available water and improved the growth characteristics and yield of cucumbers. In this study, the use of mycorrhizal fungi and hydrogel together at the moderate irrigation condition produced equivalent fruit yield to the condition of normal irrigation condition but without the use of fungus and hydrogel.

References:

1. Behbahani, M., Asadzadeh, A., Jebeli, J., 2005. Evaluation of the effect of superabsorbent hydrogels and low irrigation treatments on the storage of nutrients in hydroponic bed. In: The Third Training Course and Specialized Seminar on The Use of Superabsorbent Hydrogels, Iranian Polymer and Petrochemical Research Institute. (in Persian with English abstract)

2. Khalili, M., Shahraki, S., Piri, I., Tavassoli, A., Naghavi, M.R., 2021. Effect of irrigation levels and micronutrients on growth and yield of cherry tomato in hydroponic culture. *Journal of Soil and Plant Interactions* 12(1): 17–34. (in Persian with English abstract)

3. Marzizadeh, A., Bolandnazar, S., Hajilou, J., 2020. The effect of two commercial rootstocks pumpkin and two mycorrhizal fungi species colonization on growth and yield of greenhouse cucumber. *Agricultural Science and Plant Sustainable* 30(2): 129–143. (in Persian with English abstract)

4. Shiravand, D., Kamaliazadeh, M., Rostami, F., 2010. *Principles of Hydroponic Culture*. Sarava Press, Tehran, 224 pp. (in Persian with English abstract)