



تأثیر میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه در شرایط کم‌آبی

سید غلامرضا موسوی*

دانشیار، گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۶

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. آبیاری در سه سطح (تأمین ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان عامل اصلی، میکوریزا در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) و اسید هیومیک در دو سطح (صفر و ۱۰ لیتر در هکتار) به عنوان عامل فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از میکوریزا در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه به طور معنی‌داری شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، تعداد غوزه در مترمربع و عملکردهای پنبه را افزایش داد، اما بیش‌ترین افزایش این صفات در شرایط تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید. هم‌چنین بیش‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی و کاربرد میکوریزا به دست آمد. کاربرد میکوریزا به طور مؤثرتری نسبت به کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه شد. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب و عملکرد اقتصادی پنبه، تیمار تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی پنبه و کاربرد میکوریزا برای زراعت این گیاه در بیرجند قابل توصیه می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آبیاری، تعداد غوزه، روغن، کود زیستی و آلی، هدایت روزنه‌ای.

Effect of Mycorrhiza and Humic Acid Application on Physiological Traits, Yield, and Water Use Efficiency of Cotton under Water Deficit Stress Conditions

Seyyed Gholamreza Moosavi*

Associate Professor, Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

Received: June 27, 2019

Accepted: August 28, 2019

Abstract

In order to evaluate the impact of irrigation, humic acid, and mycorrhiza application on physiological traits, yield, and Water Use Efficiency (WUE) of cotton, an experiment was carried out as a factorial split-plot based on a randomized complete block design with three replications in the research farm of Islamic Azad University of Birjand, Iran in 2016. Three irrigation levels (40%, 70%, and 100% of water requirement or PWR) serve as the main plot and the combination of two mycorrhiza levels (non-application and application) and two humic acid levels (0 and 10 L. ha⁻¹) are the sub-plot. Results show that mycorrhiza application in the conditions of supplying 100% and 70% PWR for the plant significantly increase the chlorophyll index, stomatal conductance, number of boll per m², and the yield of cotton, but the highest increase in these traits belongs to the condition in which 70 PWR has been supplied. Also, the highest WUE has taken place in 70 PWR and application of mycorrhiza. Generally, mycorrhiza improves physiological traits, yield, and WUE of cotton more effectively than humic. Results show that considering the WUE and economic yield of cotton, supplying 70 PWR and mycorrhiza application for this plant are recommended for Birjand.

Keywords: Biological and organic fertilizer, irrigation, number of boll, oil, stomatal conductance.

۱. مقدمه

پنبه^۱ یکی از باارزشترین محصولات کشاورزی و مهم‌ترین گیاه لیفی جهان می‌باشد که به‌عنوان یک گیاه روغنی نیز اهمیت دارد. هم‌چنین، این گیاه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گیاهان اقتصادی و صنعتی مورد کشت و کار در جهان مطرح می‌باشد (Saleem et al., 2009).

کمبود منابع آبی در کشور به‌عنوان یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی به‌شمار می‌رود و از این‌رو استفاده بهینه از آب در جهت افزایش ظرفیت تولید و کارایی مصرف آب مستلزم به‌کارگیری شیوه‌های جدید علمی می‌باشد. کود بیولوژیک در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادی و هم‌زیست بوده که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل استفاده برای گیاه را دارد و ضمن توسعه سیستم ریشه‌ای، منجر به رشد بهتر گیاه می‌گردد (Khaitov & Teshae, 2015). قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان یکی از عوامل بهبوددهنده رشد، جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم‌نظام‌های طبیعی می‌باشند (Bitterlich et al., 2018) که امروزه از نظر کشاورزی پایدار نیز اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند. کاربرد هیومیک اسید یکی دیگر از روش‌های نوین توصیه‌شده در مناطق با محدودیت آب می‌باشد. ترکیبات اسید هیومیک معمولاً از تعداد زیادی مولکول تشکیل شده‌اند. برخی از آن‌ها بر پایه ترکیبات آروماتیک، فنولی و کربوکسیل می‌باشند که به هم متصل شده‌اند. اصولاً ترکیبات فنولی و کربوکسیل به‌عنوان گروه‌های عملکردی در واکنش‌پذیری و فعال‌بودن اسید هیومیک مشارکت دارند (Canellas et al., 2015). هیومیک اسید به‌عنوان یک کود آلی باعث بهبود ساختار خاک، افزایش ریشه‌زایی، نگهداری بیش‌تر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در

خاک، کمک به انحلال و آزادسازی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و در نتیجه کاهش نیاز به کودهای شیمیایی می‌گردد. هم‌چنین استفاده از هیومیک اسید موجب افزایش مقاومت به شوری، کم‌آبی و سرما و نیز کاهش سمیت کودها می‌شود (Salehi et al., 2010) و از طریق افزایش میکروارگانیسم‌های خاک، کاهش اسیدیته و بهبود چرخه عناصر غذایی تأثیر مثبتی بر خصوصیات شیمیایی خاک دارد (Osman & Rady, 2012).

در مناطق پنبه‌کاری کشور، مراحل مختلف رشد و نمو پنبه با تنش‌های خشکی و گرما برخورد می‌کند. قرارگیری پنبه در معرض تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای و محتوای رطوبت نسبی برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Sikhani, 2014). هم‌چنین با افزایش دور آبیاری از ۱۲۰ به ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک، تعداد غوزه و تعداد دانه در مترمربع به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب ۳۶/۷ و ۳۷/۸ درصد کاهش یافت (Khosravi, 2015). پژوهش‌گران کاهش ۳۵/۵ درصدی تعداد غوزه و کاهش ۳۰/۹ درصدی عملکرد الیاف را در شرایط تنش کم‌آبی در پنبه گزارش کردند (Basal et al., 2014).

هم‌زیستی میکوریزایی باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط گیاهان زراعی می‌شود. بررسی تأثیر میکوریزا بر پنبه نشان داد که مقدار کلروفیل کل پنبه در شرایط کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (Ebrahim, 2017). افزایش ۱۱ تا ۲۱ درصدی عملکرد پنبه در شرایط کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن نیز گزارش شده است (Khaitov & Teshae, 2015). در شرایط تنش خشکی ملایم تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، وزن هزاردانه کنجد را به‌ترتیب ۱۰ و ۷ درصد بهبود بخشید. هم‌چنین کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید کم‌آبی، تعداد دانه در کپسول را به‌ترتیب ۷/۶، ۸/۴ و ۱۵/۸ درصد و عملکرد

1. *Gossypium hirsutum*

و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان فاکتور اصلی، میکوریزا در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) و اسید هیومیک با دو سطح (صفر و ۱۰ لیتر در هکتار) به‌عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شد. طول هر کرت آزمایشی ۵ متر، تعداد خطوط کاشت ۴ خط و فواصل خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر بود. نیاز آبی به‌کمک روش FAO و با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A تعیین شد (Allen et al., 1998).

زمین سال قبل آیش بود و عملیات آماده‌سازی بستر کاشت در اواسط اردیبهشت‌ماه با انجام عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم انجام گرفت. بذور پنبه رقم خردادماه قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام با نسبت دو در هزار ضدعفونی شد و در ۲۰ خردادماه در عمق حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر خاک کشت گردید. گیاهان سبزشده روی ردیف در مرحله ظهور چهارمین برگ با فاصله حدود ۱۴ سانتی‌متر تنک شدند.

آبیاری با کمک سیستم تحت فشار و با استفاده از شیلنگ و کنتور در هر کرت آزمایشی انجام گرفت و اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار گیاهان (مرحله ۴ تا ۵ برگی) انجام شد (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015). مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف آبیاری در کل دوره رشد پنبه در سطوح آبیاری تأمین ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۱۰۹۷۰، ۷۵۳۵ و ۴۲۸۵ متر مکعب در هکتار بود. کاربرد هیومیک اسید نیز در دو نوبت با فواصل زمانی حدود ۱۵ روز پس از تنک نهایی بوته‌ها (حدود یک ماه پس از کاشت) انجام شد (Ameri & Tehranifar, 2012). برای این منظور با توجه به مساحت کرت‌های آزمایشی، مقدار لازم از هیومیک اسید مایع در آب معمولی حل شد و پس از قطع آبیاری درون جوی‌ها ریخته شد. لازم به‌ذکر است که از قارچ میکوریزای *Glomus intraradices* در این پژوهش استفاده گردید.

دانه کنگد^۱ را به‌ترتیب ۱۰، ۹/۷ و ۱۱/۴ درصد افزایش داد (Askari et al., 2019).

بررسی تأثیر هیومیک اسید در پنبه نشان داد که کاربرد ۱۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط عدم استفاده از این ماده، وزن صد دانه، عملکرد الیاف و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۸/۶، ۱۷/۱ و ۱۶ درصد و به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Rady et al., 2016). چهار لیتر در هکتار اسید هیومیک، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه را در آفتابگردان^۲ نسبت به تیمار عدم کاربرد این اسید به‌ترتیب ۹/۵، ۶/۵ و ۶/۱ درصد و به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Hatami, 2017).

با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک خراسان جنوبی و ضرورت معرفی مناسب‌ترین روش‌هایی که بتواند باعث بهبود عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی گردد، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد میکوریزا و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه پنبه تحت شرایط تنش کم‌آبی در منطقه بیرجند به‌اجرا درآمد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در ۵ کیلومتری جاده بیرجند- زاهدان به‌اجرا درآمد. براساس نتایج تجزیه خاک، بافت خاک مزرعه لومی، هدایت الکتریکی ۳/۲۳ میلی‌موس بر سانتی‌متر، اسیدیته ۸/۲، میزان نیتروژن کل ۰/۰۳۳ درصد، فسفر و پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب ۶/۸ و ۱۳۳ پی‌پی‌ام بود. این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. در این پژوهش، دور آبیاری در سه سطح (تأمین ۴۰، ۷۰

1. *Sesamum indicum*
2. *Helianthus annuus*

در (Hussein et al., 2011; Snowden et al., 2013). پایان تجزیه داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. صفات فیزیولوژیکی

اثرات ساده آبیاری و میکوریزا و اثر متقابل آبیاری و میکوریزا، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای را در سطح یک درصد تحت تأثیر قرار داد. هم‌چنین اثرات ساده آبیاری و میکوریزا در سطح یک درصد و اثر ساده اسید هیومیک در سطح پنج درصد بر محتوای رطوبت نسبی برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی با میانگین ۶۲/۰۵ درصد، کم‌ترین محتوای رطوبت نسبی برگ را به‌خود اختصاص داد و نسبت به سطوح آبیاری تأمین ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی، کاهش معنی‌دار و به‌ترتیب ۲۸/۵ و ۲۲/۶ درصدی را نشان داد (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد که محتوای نسبی آب برگ رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه و جذب آب از خاک دارد و از آنجاکه در شرایط تنش کمبود آب، پتانسیل آب خاک و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد (Abdelraheema et al., 2019)، کاهش محتوای نسبی آب برگ در این شرایط قابل انتظار است. برخی از پژوهش‌گران معتقدند که بین میزان رطوبت خاک و محتوای نسبی رطوبت برگ یک رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش کم‌آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Khan et al., 2007). در بررسی دیگری گزارش شد که با کاهش تأمین نیاز آبی پنبه از ۱۰۰ به ۵۰ درصد، محتوای نسبی رطوبت برگ به‌طور معنی‌داری و از ۸۶ به ۷۹ درصد کاهش یافت (Siskhani,

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک شامل شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ، در زمان شروع گل‌دهی پنج بوته به‌صورت تصادفی از خطوط میانی انتخاب و اندازه‌گیری‌های موردنظر انجام شد. در این آزمایش، برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD Minolta-502 ساخت ژاپن) و هدایت روزنه‌ای از دستگاه پرومتر (Delta-T Devices, Cambridge, UK) استفاده شد. محتوای نسبی آب برگ نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Rafiei et al., 2009):

= محتوای نسبی آب برگ (%)

$$100 \times \frac{(\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تازه برگ})}{(\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ})}$$

برداشت الیاف و دانه پنبه در دو مرحله براساس بازشدن غوزه‌ها از دو متر میانی هر کرت آزمایشی و با رعایت اثر حاشیه‌ای از دو ردیف وسط به‌صورت برداشت غوزه صورت گرفت و در نهایت تعداد غوزه در مترمربع از شمارش تعداد غوزه‌های برداشت‌شده از مساحت دو مترمربع هر کرت به‌دست آمد. اولین برداشت غوزه در تاریخ ۹۴/۰۷/۳۰ و دومین و آخرین برداشت در تاریخ ۹۴/۰۸/۳۰ زمانی انجام شد که بوته‌ها کاملاً خشک شده بودند. پس از جداسازی الیاف و دانه، جداگانه توزین آن‌ها انجام گرفت و عملکردهای الیاف و دانه در مترمربع به‌دست آمد. جهت تعیین وزن هزاردانه پنبه، تعداد ۱۰۰۰ عدد پنبه دانه از توده بوجاری‌شده بذور به‌طور تصادفی با استفاده از دستگاه بذرشمار جدا گردید و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد.

هم‌چنین در این بررسی کارایی مصرف آب برای تولید دانه، الیاف و روغن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب از تقسیم هر یک از عملکردهای دانه، الیاف و روغن بر آب مصرف‌شده در هر تیمار آزمایشی محاسبه گردید

تأثیر میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه در شرایط کم آبی

2014). هم‌چنین با افزایش دور آبیاری از 120 به 240 رطوبت برگ، 19/1 درصد کاهش پیدا کرد (Khosravi, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول 1. نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سطوح آبیاری، میکوریزا و اسید هیومیک بر صفات مورد مطالعه پنبه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص کلروفیل	هدایت روزنه‌ای	محتوای آب نسبی	تعداد غوزه در مترمربع	تعداد دانه در غوزه
تکرار	2	359/24*	579/3*	1069/4**	199/65*	7/98 ns
آبیاری (I)	2	1964/7**	18034/2**	2033/1**	3182/8**	215/81*
خطای اصلی	4	163/49	303/2	131/69	71/54	32/21
میکوریزا (M)	1	1468/01**	5085/02**	437/53**	1295/12**	68/83ns
هیومیک اسید (H)	1	230/27ns	621/8	183/70*	402/89*	33/97ns
I × M	2	327/86*	1516/1**	30/49ns	214/67*	15/97ns
I × H	2	3/88ns	40/6ns	4/64ns	117/75ns	4/47ns
M × H	1	32/95ns	82/3ns	2/05ns	0/98ns	0/213ns
I × M × H	2	26/63ns	50/9ns	6/96ns	11/45ns	6/178ns
خطای فرعی	18	77/90	151/3	30/17	49/98	22/42
ضریب تغییرات (درصد)	-	14/9	13/9	7/22	13/64	13/50

ns, * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد.

ادامه جدول 1. نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سطوح آبیاری، میکوریزا و اسید هیومیک بر صفات مورد مطالعه پنبه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد الیاف	عملکرد دانه	عملکرد روغن	کارایی مصرف آب الیاف	کارایی مصرف آب دانه
تکرار	2	138336/02*	312558/8ns	46860/11ns	0/003**	0/008ns
آبیاری (I)	2	4707134/9**	7892719/63**	1014336/5**	0/004**	0/043**
خطای اصلی	4	18761/1	79115/35	9433/12	0/00039	0/0021
میکوریزا (M)	1	356237/09**	5635290/41**	578974/3**	0/006**	0/0869**
هیومیک اسید (H)	1	50728/41*	1922714/06**	169362/1**	0/001ns	0/0236**
I × M	2	109404/25**	1163270/05**	102654/8**	0/002**	0/018**
I × H	2	2572/06ns	469337/13**	40829/6**	0/00004ns	0/0053**
M × H	1	29674/61ns	84331/25ns	9954/35ns	0/0005ns	0/001ns
I × M × H	2	9880/04ns	38163/04ns	2351/41ns	0/00013ns	0/0008ns
خطای فرعی	18	11360/21	68210/18	61750/8	0/0002	0/0013
ضریب تغییرات (درصد)	-	12/5	15/3	15/82	12/93	16/61

ns, * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد.

با کاربرد آن و جذب بیش تر آب توسط گیاه، محتوای نسبی آب برگ گیاه به طور معنی داری افزایش می یابد. کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل دخیل در کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ شناخته شده اند و کاربرد اسید هیومیک از طریق قدرت کلات کنندگی عناصر غذایی و کاهش تبخیر و تعرق (Rady *et al.*, 2016) و در نتیجه تأمین بیش تر آب و مواد غذایی برای گیاه، می تواند محتوای رطوبت نسبی برگ را افزایش دهد. نتایج پژوهش دیگری در ذرت و در شرایط مشابه با پژوهش حاضر نشان داد که با کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک، محتوای رطوبت نسبی برگ به طور معنی داری افزایش یافت (Raghara, 2014).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک بر محتوای آب نسبی برگ، تعداد دانه در غوزه و عملکرد الیاف پنبه

اسید هیومیک (L. ha ⁻¹)	محتوای آب نسبی برگ (%)	تعداد غوزه در مترمربع	عملکرد الیاف (kg. ha ⁻¹)
صفر	b74/51	b48/48	b817/53
۱۰	a79/03	a55/17	a892/0

میانگین های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی دار ندارند.

مقایسه میانگین های اثر متقابل آبیاری و میکوریزا بیانگر آن است که استفاده از میکوریزا نسبت به عدم کاربرد میکوریزا، به طور معنی داری شاخص کلروفیل و هدایت روزنه ای برگ پنبه را در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش داد. با این وجود در شرایط تنش شدید کم آبی (تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی)، استفاده از میکوریزا بر این صفات معنی دار نبود. هم چنین بیش ترین افزایش این صفات در شرایط تنش متوسط کم آبی (تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی) مشاهده گردید، به طوری که شاخص کلروفیل و هدایت روزنه ای با کاربرد میکوریزا در شرایط

مقایسه میانگین ها نشان داد که کاربرد میکوریزا باعث افزایش معنی دار محتوای رطوبت نسبی برگ گردید به طوری که صفت مذکور از ۷۳/۲۹ در شرایط عدم کاربرد این کود بیولوژیک به ۸۰/۲۶ درصد در شرایط کاربرد میکوریزا رسید. با توجه به این که در گیاهان هم زیست با میکوریزا به علت نقش کمکی میسلیوم های قارچ برای ریشه ها، افزایش جذب آب و مواد غذایی اتفاق می افتد (Amerian *et al.*, 2014)، افزایش معنی دار محتوای نسبی آب برگ قابل انتظار می باشد. به نظر می رسد میکوریزا از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طولی کردن سیستم ریشه گیاه میزان و افزایش سطح جذب آب از طریق میسلیوم های قارچ، باعث جذب آب بیش تر و بهبود روابط آبی گیاه میزان می گردد (Amerian *et al.*, 2014). با کاربرد میکوریزا، افزایش معنی دار محتوای رطوبت نسبی برگ سویا از ۶۷/۳ به ۷۰/۹ درصد گزارش شد (Jahangiri Nia *et al.*, 2017).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش کم آبی بر محتوای آب نسبی برگ و تعداد دانه در غوزه پنبه

آبیاری (درصد تأمین نیاز آبی)	محتوای آب نسبی برگ (%)	تعداد دانه در غوزه
۱۰۰	۸۶/۷۵ a	۳۷/۸۳ a
۷۰	۸۱/۵۱ a	۳۵/۷۵ ab
۴۰	۶۲/۰۵ b	۳۱/۹۳ b

میانگین های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی دار ندارند.

با کاربرد اسید هیومیک به میزان ۱۰ لیتر در هکتار، محتوای رطوبت نسبی برگ به طور معنی دار و ۶۷ درصد افزایش یافت (جدول ۳). از آنجایی که هیومیک اسید خاصیت شبه هورمونی دارد و باعث افزایش ریشه زایی می گردد (Salehi *et al.*, 2010)، می توان نتیجه گیری نمود که

تأثیر میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه در شرایط کم آبی

(Sapeta et al., 2013)، هدایت روزنه‌ای با کاربرد میکوریزا افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد گیاهانی که به روش‌هایی مانند هم‌زیستی با میکوریزا امکان دسترسی به آب بیشتری دارند، می‌توانند کاهش محتوای کلروفیل و هدایت روزنه‌ای را تعدیل کنند.

۲.۳. اجزای عملکرد و عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری بر تعداد غوزه در مترمربع، تعداد دانه در غوزه، وزن هزاردانه، عملکردهای دانه، لیاف و روغن، اثر ساده میکوریزا و اثر متقابل آبیاری و میکوریزا بر تعداد غوزه در مترمربع، وزن هزاردانه، عملکردهای دانه، لیاف و روغن و اثر ساده اسید هیومیک بر تعداد غوزه در مترمربع، عملکردهای دانه، لیاف و روغن معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل آبیاری و اسید هیومیک، عملکردهای دانه و روغن و اثر متقابل آبیاری و اسید هیومیک عملکرد روغن را در سطح یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱).

آبیاری مطلوب به ترتیب ۲۷/۵ و ۲۰/۱ درصد و در شرایط تنش متوسط کم آبی به ترتیب ۳۸/۵ و ۶۲/۴ درصد افزایش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد در گیاهانی که در معرض تنش کم آبی قرار می‌گیرند، جذب نیتروژن، منیزیم و آهن از خاک کاهش یافته که نتیجه آن کاهش میزان سنتز کلروفیل می‌باشد (Abdelraheema et al., 2019) و از آنجاکه با کاربرد میکوریزا و گسترش میسلیوم‌های این قارچ به داخل خاک، در شرایط تنش متوسط کم آبی امکان دسترسی گیاه به حجم بیش‌تر و منافذ ریزتر خاک فراهم می‌گردد، میزان جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و آب کافی برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان فراهم می‌گردد (Bitterlich et al., 2018). از این رو شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. به عبارتی در این شرایط، گیاه آب بیش‌تری را در اختیار بخش هوایی قرار داده و ضمن افزایش سنتز کلروفیل در گیاه، احتمالاً به‌علت فرایندهایی مانند کاهش تولید و انتقال اسید آبسزیک به سلول‌های محافظ روزنه

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم آبی و میکوریزا بر صفات مورد مطالعه در پنبه

کارایی مصرف آب روغن (kg. m ⁻³)	کارایی مصرف آب دانه (kg. m ⁻³)	کارایی مصرف آب لیاف (kg. m ⁻³)	عملکرد روغن (kg. ha ⁻¹)	عملکرد دانه (kg. ha ⁻¹)	عملکرد لیاف (kg. ha ⁻¹)	وزن هزاردانه (g)	تعداد غوزه در مترمربع	هدایت روزنه‌ای (mmol. m ⁻² . s ⁻¹)	شاخص کلروفیل	میکوریزا	آبیاری (درصد)	تأثیر نژاد آبی
۰/۰۵۶۳c	۰/۱۸۶۹c	۰/۱۰۰۵bc	۶۱۷/۵۰c	۲۰۵۱/۱۲b	۱۱۰۲/۱b	۹۹/۸۲a	۵۸/۱۳b	۱۱۰/۰۳b	۶۰/۱۹b	عدم کاربرد	۱۰۰	
۰/۰۸۳۵b	۰/۲۶۳۴b	۰/۱۱۳۵b	۹۱۶/۰۵a	۲۸۹۰/۱۶a	۱۲۴۵/۶a	۱۰۵/۷۷a	۷۱/۴۶a	۱۳۲/۱۲a	۷۶/۷۴a	کاربرد		
۰/۰۴۳۶cd	۰/۱۶۰۶c	۰/۱۰۳۹bc	۳۲۸/۳۸d	۱۲۱۰/۴۷c	۷۶۳/۱۵c	۸۱/۱۲b	۴۷/۲۸c	۷۵/۳۱c	۵۴/۱۶bc	عدم کاربرد	۷۰	
۰/۰۹۸۳a	۰/۳۴۴۹a	۰/۱۵۸۵a	۷۴۰/۴۰b	۲۵۹۹/۲۲a	۱۱۹۴/۷a	۱۰۳/۸۰a	۶۶/۹۹a	۱۲۲/۳۶ab	۷۴/۹۸a	کاربرد		
۰/۰۳۸۲d	۰/۱۵۴۸c	۰/۰۸۹۰c	۱۶۳/۸۱e	۶۶۳/۴۵d	۳۸۱/۴۸d	۶۸/۱۶c	۳۲/۰۸d	۴۴/۵۱d	۴۴/۱۴c	عدم کاربرد	۴۰	
۰/۰۵۰۰cd	۰/۱۸۸۹c	۰/۰۹۸۸bc	۲۱۴/۱۴e	۸۰۹/۵۴d	۴۲۳/۴۰d	۷۰/۹۹bc	۳۵/۰۳d	۴۶/۷۲d	۴۵/۰۹c	کاربرد		

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

کاربرد این کود بیولوژیک منجر به افزایش معنی‌دار تعداد غوزه در مترمربع، عملکردهای دانه، الیاف و روغن پنبه شد، اما بیش‌ترین افزایش این صفات در شرایط تنش متوسط کم‌آبی مشاهده گردید، به‌طوری‌که کاربرد میکوریزا در شرایط آبیاری مطلوب، تعداد غوزه در مترمربع، عملکردهای دانه، الیاف و روغن را به‌ترتیب ۲۲/۹، ۴۰/۹، ۱۳ و ۴۸/۳ درصد و در شرایط تنش کم‌آبی متوسط به‌ترتیب ۴۱/۷، ۱۱۴/۷، ۵۶/۵ و ۱۲۵/۵ درصد افزایش داد (جدول ۴).

به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، کاربرد میکوریزا به‌علت گسترش میسلیوم‌های این قارچ به داخل خاک و دسترسی گیاه به حجم بیش‌تر و منافذ ریزتر خاک و نیز هدایت هیدرولیکی بیش‌تر آب (Bitterlich et al., 2018)، میزان جذب آب افزایش یافته و از طریق افزایش ۳۸/۵ و ۶۲/۴ درصدی به‌ترتیب شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا (جدول ۳)، سرعت فتوسنتز و توان ماده‌سازی گیاه افزایش یافته که نتیجه آن بهبود رشد رویشی گیاه (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015) و افزایش معنی‌دار تعداد غوزه در مترمربع بود (جدول ۳). این موضوع باعث شد تا عملکردهای دانه، الیاف و روغن نیز از افزایش قابل‌توجه در تیمار تنش متوسط کم‌آبی و کاربرد میکوریزا برخوردار شود. این در حالی است که در شرایط تنش شدید کم‌آبی بین کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا در همه صفات مذکور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳) و می‌توان نتیجه‌گیری نمود که احتمالاً در شرایط کمبود شدید آب به‌علت کاهش قابل‌توجه شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش رشد و فتوسنتز، گیاه میزبان (پنبه)، نتوانسته است کربوهیدرات لازم برای رشد میسلیوم‌های میکوریزا را تأمین نماید. هم‌چنین از آنجاکه کاربرد میکوریزا در شرایط آبیاری

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد دانه در غوزه در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی از برتری معنی‌دار ۱۸/۵ درصدی نسبت به تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی برخوردار بود (جدول ۲). عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر، یکی از دلایل عمده کاهش تعداد دانه در غوزه در شرایط تنش کم‌آبی می‌باشد. بروز تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند و کاهش تولید دانه در غوزه می‌گردد. در پژوهشی گزارش شد که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تعداد دانه در غوزه به‌میزان ۳۶/۶ درصد بیش‌تر از شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بود (Siskhani, 2014).

کاربرد اسید هیومیک با تولید ۵۵/۱۷ غوزه در مترمربع از برتری معنی‌دار ۱۳/۸ درصدی نسبت به عدم کاربرد اسید هیومیک برخوردار بود. هم‌چنین کاربرد اسید هیومیک عملکرد الیاف را به‌طور معنی‌دار و ۹/۲ درصد افزایش داد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که اسید هیومیک از طریق بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی دخیل در جذب آب توسط ریشه و اثرات هورمونی (Canellas et al., 2015) و هم‌چنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی (Rady et al., 2016)، سبب افزایش ارتفاع و شاخه‌دهی گیاه و در نهایت تعداد غوزه و عملکرد در واحد سطح می‌شود. در بررسی تأثیر کاربرد هیومیک اسید در پنبه گزارش شد که با کاربرد ۱۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط عدم استفاده از این ماده، عملکرد الیاف از ۱/۱۱ تن در هکتار و به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Rady et al., 2016).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبی و میکوریزا بیانگر آن است که هرچند در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی متوسط، کاربرد میکوریزا نسبت به عدم

به میزان ۲۶/۵ و ۳۱/۷ درصد در اثر کاهش تأمین نیاز آبی پنبه از ۱۰۰ به ۵۰ درصد (Siskani, 2014) گزارش شده است. نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد که در شرایط تنش کم آبی نسبت به آبیاری مطلوب، صفات شاخص سطح برگ، تعداد غوزه در مترمربع، عملکرد پنبه دانه و عملکرد الیاف کاهش یافت (Zhang et al., 2016).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم آبی و اسیدهیومیک بیانگر آن است که هرچند در دو سطح آبیاری مطلوب و تنش متوسط کم آبی، کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسیدهیومیک نسبت به عدم کاربرد این اسید عملکرد دانه را به ترتیب ۳۶/۳ و ۳۸/۴ درصد و عملکرد روغن را به ترتیب ۳۵/۷ و ۳۸/۴ درصد افزایش داد اما در شرایط تنش شدید کم آبی، کاربرد اسیدهیومیک تأثیر معنی داری بر این صفات نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که در شرایط پژوهش حاضر کاربرد اسیدهیومیک با افزایش محتوای نسبی آب برگ (جدول ۳) شرایط بهتری را برای فتوسنتز گیاه فراهم آورده و از طریق افزایش تعداد غوزه در واحد سطح (جدول ۳) سبب افزایش عملکردهای دانه و روغن شده است. کاربرد اسیدهیومیک در شرایط کم آبیاری، ضمن بهبود نسبی ویژگی‌های کمی گیاه، نقش مؤثری در کاهش اثرات مخرب ناشی از کم آبی و ثبات عملکرد آن دارد (Jahan et al., 2015). در پژوهش دیگری مشخص شد که اسیدهیومیک اثرات مضر کمبود آب را به وسیله گلوکوتایون احیاشده کاهش داده و اثر مفیدی روی رشد و فتوسنتز اعمال کرده است (Buasri et al., 2012). با کاربرد ۱۵ کیلوگرم اسیدهیومیک در هکتار عملکرد دانه پنبه از ۱/۵۶ به ۱/۸۱ تن در هکتار افزایش یافت (Rady et al., 2016). هم‌چنین افزایش معنی دار عملکرد دانه و روغن در آفتابگردان (Hatami, 2017) با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

مطلوب نتوانست مانند تنش متوسط کم آبی باعث افزایش صفات مذکور گردد، می‌توان گفت در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به علت وجود آب کافی و قابل دسترس برای ریشه پنبه، اهمیت کاربرد میکوریزا در جذب آب و عناصر غذایی کاهش یافته است. لازم به ذکر است که کاربرد میکوریزا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید کم آبی تأثیر معنی داری بر وزن هزاردانه پنبه نداشت و تنها در شرایط تنش متوسط کم آبی، کاربرد میکوریزا افزایش معنی دار و ۲۸ درصدی این صفت را به دنبال داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد در شرایط تنش متوسط کم آبی به علت فعالیت میسلیوم‌های قارچ میکوریزا در خاک، میزان جذب آب و عناصر غذایی را افزایش داده و بنابراین تولید مواد فتوسنتزی و انتقال این مواد به سمت مخازن (بذرها) افزایش می‌یابد که موجب افزایش وزن هزاردانه در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا می‌گردد.

گزارش شده است که قارچ میکوریزا از طریق گسترش شبکه میسلیومی در حین هم‌زیستی با گیاه میزبان و تبدیل فسفر غیرقابل جذب به فرم قابل جذب و انتقال آن به ریشه گیاه میزبان، سبب افزایش عملکرد به خصوص تحت شرایط تنش کم آبی می‌گردد (Rejali et al., 2008). هم‌چنین می‌توان گفت که گیاهان میکوریزیایی در شرایط تنش کم آبیاری با افزایش هدایت روزنه‌ای، بهتر از گیاهان غیرمیکوریزیایی CO₂ را جذب می‌نمایند (جدول ۴). در بررسی تأثیر دو سطح آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر و سه سطح تلقیح میکوریزیایی گزارش شد که عملکرد چای ترش در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزای *Glomus intraradices* بیش تر از تیمار عدم تلقیح بود (Fallahi et al., 2017). کاهش ۳۰/۲ درصدی تعداد غوزه در مترمربع و نیز کاهش عملکردهای الیاف و دانه پنبه در واحد سطح به ترتیب

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید هیومیک بر عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه

آبیاری (درصد تأمین نیاز آبی)	هیومیک اسید (kg. ha ⁻¹)	عملکرد دانه (kg. ha ⁻¹)	عملکرد روغن (kg. ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب دانه (kg. m ⁻³)	کارایی مصرف آب روغن (kg. m ⁻³)
۱۰۰	عدم کاربرد	۲۰۹۱/۰۶ b	۶۵۰/۵۵ b	۰/۱۹۱ b	۰/۰۵۹۳ b
	کاربرد	۲۸۵۰/۲۳ a	۸۸۳/۰۱ a	۰/۲۶۰ a	۰/۰۸۰۵ a
۷۰	عدم کاربرد	۱۵۹۷/۷۳ c	۴۴۸/۳۸ c	۰/۲۱۲ b	۰/۰۵۹۵ b
	کاربرد	۲۲۱۱/۹۶ b	۶۲۰/۴۰ b	۰/۲۹۴ a	۰/۰۸۲۳ a
۴۰	عدم کاربرد	۷۲۹/۸۸ d	۱۵۸/۴۴ d	۰/۱۷۰ b	۰/۰۴۳۲ c
	کاربرد	۷۴۳/۱۰ d	۱۹۲/۵۱ d	۰/۱۷۳۴ b	۰/۰۴۴۹ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

۳.۳. کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کارایی مصرف آب برای تولید لیاف به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل آبیاری و میکوریزا قرار گرفت. هم‌چنین اثرات ساده آبیاری، اسیدهیومیک و میکوریزا و اثر متقابل آبیاری و میکوریزا به‌طور معنی‌دار و در سطح یک درصد صفات کارایی مصرف آب برای تولید دانه و روغن را تحت تأثیر قرار داد و اثر متقابل آبیاری و اسیدهیومیک نیز در سطح پنج درصد این صفات را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و میکوریزا بیانگر آن است که بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید لیاف، دانه و روغن در پنبه با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۱۵۹، ۰/۳۴۵ و ۰/۰۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار تنش متوسط کم‌آبی و کاربرد میکوریزا به‌دست آمد. هم‌چنین هرچند کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن در دو سطح آبیاری مطلوب و تنش متوسط کم‌آبی، منجر به افزایش معنی‌دار و به‌ترتیب ۴۰/۹ و ۱۱۴/۸ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید دانه و ۴۸/۳ و ۱۱۵/۵ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید روغن شد، اما در شرایط تنش شدید کم‌آبی، کاربرد میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر این صفات نداشت. هم‌چنین کاربرد میکوریزا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید کم‌آبی تأثیر

معنی‌داری بر کارایی مصرف آب برای تولید لیاف پنبه نداشت و تنها در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، کاربرد میکوریزا توانست افزایش معنی‌دار و ۵۲/۹ درصدی این صفت را باعث گردد (جدول ۴).

علت این موضوع را در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، می‌توان به کاهش آب مصرفی و نیز نقش مؤثر کاربرد میکوریزا در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی بر صفات فیزیولوژیکی گیاه و حفظ توان فتوسنتزی آن که در نهایت منجر به افزایش قابل‌ملاحظه عملکرد لیاف، دانه و روغن می‌گردد، مربوط دانست. به‌عبارتی کاربرد میکوریزا در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، نقش مؤثرتری در بهبود عملکرد و در نتیجه کارایی مصرف آب ایفا می‌کند. پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری مطلوب بهره‌وری آب در پنبه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (Zhang et al., 2016). در گیاهان برخوردار از همکاری میکوریزایی به‌دلیل افزایش فتوسنتز و تولید بیش‌تر مواد فتوسنتزی به‌ازای واحد آب مصرفی، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Miller, 2000). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تنش متوسط کم‌آبی به‌علت صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب برای گیاه پنبه مناسب است درحالی‌که

کاهش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و اجزای عملکرد، موجب کاهش عملکرد اقتصادی پنبه شد، اما تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش متوسط کم‌آبی)، افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب را باعث گردید. از سوی دیگر مواد بهبوددهنده رشد (میکوریزا و هیومیک‌اسید) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر اغلب صفات مورد مطالعه پنبه داشتند، اما نقش میکوریزا در کاهش تأثیر تنش کم‌آبی پررنگ‌تر بود. کاربرد میکوریزا از طریق تأثیر مثبت بر شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و افزایش تعداد غوزه در واحد سطح، افزایش معنی‌دار عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب را سبب شد. هم‌چنین اگرچه استفاده از میکوریزا در شرایط تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌طور چشم‌گیری بهبود صفات پنبه را باعث گردید، اما در شرایط تنش شدید، کاربرد میکوریزا نتوانست تغییر معنی‌داری در این صفات ایجاد کند. به‌طورکلی با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب و عملکرد اقتصادی پنبه، تیمار تنش متوسط کم‌آبی و کاربرد میکوریزا را برای زراعت این گیاه در بیرجند قابل توصیه است.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- Abdelraheem, A., Esmaili, N., Connell, M. & Zhang, J. (2019). Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. *Industrial Crops & Products*, 130, 118-129. [https://doi: 10.1016/j.indcrop.2018.12.070](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.070)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage, Paper 56. Rome, Italy: Food and Agricultural Organization of the UN.
- Ameri, A. & Tehranifar, A. (2012). Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristic *Fragaria ananassa*. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 6(16), 77-79. [https:// doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1049.54](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1049.54)

تنش شدید کم‌آبی، اگرچه باعث صرفه‌جویی زیاد در مصرف آب می‌گردد، ولی منجر به کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب گردیده که ممکن است از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه نباشد (Pereira et al., 2009). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و اسیدهیومیک نشان داد که بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید دانه و روغن در پنبه با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۲۹۴ و ۰/۰۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار تنش متوسط کم‌آبی و کاربرد اسیدهیومیک به‌دست آمد که از لحاظ آماری تفاوتی با تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد اسیدهیومیک نداشت. هم‌چنین هرچند کاربرد اسیدهیومیک نسبت به عدم کاربرد آن در دو سطح آبیاری مطلوب و تنش متوسط کم‌آبی، منجر به افزایش معنی‌دار و به‌ترتیب ۳۶/۳ و ۳۸/۴ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید دانه و ۳۵/۸ و ۳۸/۳ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید روغن شد، اما در شرایط تنش شدید کم‌آبی، کاربرد اسیدهیومیک تأثیر معنی‌داری بر این صفات نداشت (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب و تنش متوسط کم‌آبی، از طریق افزایش رشد ریشه و جذب عناصر غذایی و در نتیجه ارتقای توان فتوسنتزی گیاه، عملکرد دانه و روغن و در نهایت کارایی مصرف آب برای تولید دانه و روغن را به‌طور معنی‌داری در گیاه پنبه افزایش داد. در بررسی تأثیر کاربرد اسیدهیومیک بر کارایی مصرف آب و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ذرت در شرایط کم‌آبیاری گزارش شد که کاربرد اسیدهیومیک به‌میزان ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر در طی دوره رشد، افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب را به‌دنبال دارد (Shahhosseini et al., 2012).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی شدید از طریق

- Amerian, M. R., Yousefsani, M.S. & Koocheki, A. (2014). Effects inoculation of mycorrhizae species and irrigation levels impacts on growth criteria, yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 6(1), 152-161. (in Persian)
- Askari, A., Ardekani, M. R., Vazan, S., Paknejad, F. & Hossein, Y. (2019). Effect on mycorrhizal fungi symbiosis and priming on yield and yield components of sesame seeds at levels of drought stress. *Journal of Agroecology*, 10(4), 229-1244. (in Persian)
- Basal, H., Sezener, V., Canavar, O., Kızılkaya, K. & Dagdelen, N. (2014). Effects of water stress and plant density on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars differing in maturity and seed size: I. Yield components and fiber quality parameters. *International Journal of Agriculture Innovations Research*, 3(3), 755-760.
- Bitterlich, M., Franken, P. & Graefe, J. (2018). Arbuscular mycorrhiza improves substrate hydraulic conductivity in the plant available moisture range under root growth exclusion. *Frontiers in Plant Science*, 9:301-309. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00301>
- Buasri, A., Chaiyut, N. & Loryuenyong, V. (2012). Transesterification of waste frying oil for synthesizing biodiesel by KOH supported on coconut shell activated carbon in packed bed reactor. *Science Asia*, 38, 283-288. <https://doi:10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.283>
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P. & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27.
- Ebrahim, M. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on chemical constituents in cotton/alfalfa mixed culture. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 63(2), 67-73. <https://doi:10.1515/agri-2017-0006>
- Fallahi, H. R., Ghorbani, M., Aghavani-Shajari, M., Samadzadeh, A., Khayyat, M., Maraki, Z. & Asadian, A. H. (2017). Effects of irrigation management, mycorrhizal inoculation and humic acid application on color characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) dried sepals. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4), 571- 582. (in Persian)
- Gholinezhad, E. & Darvishzadeh, R. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3), 119-135. (in Persian)
- Hussein, F., Janat, M., & Yakoub, A. (2011). Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35, 611-621. <https://doi:10.3906/tar-1008-1138>
- Jahan, M., Ghalenoee, Sh., Khamooshi, A. & Amiri, M. B. (2015). Evaluation of some agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by simultaneous application of water-saving superabsorbent hydrogel in soil and foliar application of humic acid under different irrigation intervals in a lowinp. *Journal of Horticulture Science*, 29(2), 240-254. <https://doi:10.22077/ESCS.2017.720.1146>
- Jahangiri Nia, E., Syadat, A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M. & Moradi Telavat, M. R. (2017). The effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. *Journal of Agroecology*, 8(4), 83-597.
- Hatami, H. (2017). The effect of zinc and humic acid applications on yield and yield components of sunflower in drought stress. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 4(1), 36-39.
- Khaitov, B. & Tshaev, S. (2015). The effect of arbuscular mycorrhiza fungi on cotton growth and yield under salinated soil condition. *Cotton Genomics and Genetics*, 6(3), 1-5.
- Khan, H. U., Link, W., Hocking, T. & Stoddard, F. (2007). Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.) *Plant and Soil*, 292(1-2), 205-217. <https://doi:10.1007/s11104-007-9217-5>
- Khosravi, A. (2015). Effect of irrigation interval, foliar application of methanol and plant density on morphophysiology traits, yield and yield components of cotton. M.Sc. dissertation, Faculty of Agriculture, Azad University of Birjand, Iran. (in Persian)
- Miller, M. H. (2000). Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: A review of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Science*, 80, 47-52. <https://doi:10.4141/P98-130>
- Osman, A. S., & Rady, M. M. (2012). Ameliorative effects of sulphur and humic acid on the growth, antioxidant levels and yields of pea (*Pisum sativum* L.) plants grown in reclaimed saline soil. *Journal Horticulture Sciences and Biotechnology*, 87, 626-632. <https://doi:10.1080/14620316.2012.11512922>

- Pereira, L. S., Paredes, P., Sholpankulov, E. D., Inchenkova, O. P., Teodoro, P. R. & Horst, M. G. (2009). Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agricultural Water Management*, 96(5), 723-735. [https://doi: 10.1016/j.agwat.2008.10.013](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.10.013)
- Rady, M.M., Abd El-Mageed, T.A., Abdurrahman, H.A. & Mahdi, A.H. (2016). Humic acid application improves field performance of cotton (*Gossypium barbadense* L.) under saline conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(2), 487-493.
- Rafiei, M., Karimi, M., Noormohamadi, G. & Nadian, H. A. (2009). Effects of drought stress and zinc and phosphorus rates on some morphological traits and physiological of grain corn. *Crop Physiology Journal*, 1(1), 58-66. (in Persian)
- Raghara, H. (2014). *Effect of water deficit stress and application of humic and salicylic acid on physiological traits, yield and yield components of corn*. M.Sc. Thesis, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Birjand Branch, Birjand, Iran. (in Persian)
- Rejali, F., Alizadeh, A., Malekoti, M. J. & Saleh Rastin, N. (2008). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Relationship on Growth, yield and Mineral Intake of Wheat under Drought Stress, *Iranian Journal of Soil Research*, 21(2), 241-259. (in Persian)
- Salehi, B., Bagherzadeh, A. & Ghasemi, M. (2010). Effect of humic acid on growth, yield and yield components traits of three variety of *Lycopersicon esculentum* L. *Agroecology Journal*, 2(4), 640-647. (in Persian)
- Saleem, M.F., Anjum, S.A., Shakeel, A., Ashraf, M.Y. & Khan, H. Z. (2009). Effect of row spacing on earliness and yield in cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2179-2188.
- Sapeta, H., Miguel Costa, J., Lourenco, T., Maroco, J., van der Linde, P. & Oliveira, M. (2013). Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, 85, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.012>
- Siskhani, A. (2014). *Effect of zinc and silicium nano on yield and agronomic traits of cotton under water stress conditions*. M.Sc. thesis, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Birjand Branch, Birjand, Iran. (in Persian)
- Shahhosseini, Z., Gholami, A. & Asghari Asghari, H. (2012). Effect of arbuscular mycorrhiza and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome*, 2(1), 39-57. (in Persian)
- Snowden, G., Ritchie, G. & Thompson, T. (2013). Water use efficiency and irrigation response of cotton cultivars on subsurface drip in West Texas. *The Journal of Cotton Science*, 17, 1-9.
- Zhang, D., Luo, Z., Liu, S., Li, W., Tang, W. & Dong, H. (2016). Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. *Field Crops Research*, 197, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.003>