

نوع مقاله: پژوهشی

تاثیر مقادیر مصرف اسید هیومیک، جلبک دریایی و میکوریزا بر عملکرد، کیفیت الیاف و قابلیت هضم یونجه در همدان

امید اخیایی^۱ و امین فرنی (نویسنده مسئول)^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران، Omidehyaei97@gmail.com

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران، aminfarnia@gmail.com

aminfarnia@gmail.com

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۴

The effect of humic acid, seaweed and mycorrhiza application rates on yield, fiber quality and digestibility of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in Hamedan

Omid Ehyaei¹ and Amin Farnia (Corresponding author)^{2*}

1- Ph.D student, Department of Agriculture, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran, Omidehyaei97@gmail.com

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Borujerd Branch, Borujerd, Iran, aminfarnia@gmail.com

Received: May 2025 Accepted: July 2025

Abstract

In order to investigate the effect of humic acid, mycorrhiza and seaweed application rates on the yield and quality of Hamedani alfalfa forage, an experiment was conducted in Kabudarahang County, Hamedan Province. The experiment was conducted as a factorial in a randomized complete block design with three replications. The factors studied included mycorrhiza treatment at two levels of application and non-application, humic acid at three levels of control, 2.5 and 5 l.ha⁻¹, and seaweed extract at three levels of control, 1 and 1.5 kg.ha⁻¹. The results showed that the highest alfalfa plant height was related to the application of 5 l.ha⁻¹ of humic acid and the application of 1.5 kg.ha⁻¹ of seaweed along with 20gr.m⁻² of mycorrhiza fungus. The highest fresh forage yield was related to the application of 5 l.ha⁻¹ of humic acid. The highest dry matter yield was obtained from the application of 1.5 kg.ha⁻¹ of seaweed with 20 gr.m⁻² of mycorrhizal fungi. The highest fiber percentage was obtained from the treatment of no mycorrhizal fungi and no seaweed. The highest fiber yield was also obtained from the treatment of no mycorrhizal fungi and 1kg.ha⁻¹ of seaweed. The highest crude fiber was obtained from the treatment of no mycorrhizal fungi and seaweed. The highest digestibility was obtained from the application of 20 kg.ha⁻¹ of mycorrhizal fungi and 1.5 gr.m⁻² of seaweed.

Keywords: Alfalfa, Fiber, Humic acid, Seaweed

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Summer 2025, Vol 20, No 2, Pp 13-34

چکیده

به منظور بررسی اثر مقدار مصرف اسید هیومیک، مایکوریزا و جلبک دریایی بر عملکرد و کیفیت علوفه یونجه همدانی آزمایشی در شهرستان کبودراهنگ واقع در استان همدان به اجرا درآمد. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل تیمار مایکوریزا در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد، اسید هیومیک در سه سطح شاهد، ۲/۵ و ۵ لیتر در هکتار و عصاره جلبک دریایی در سه سطح شاهد، ۱ و ۱/۵ کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع بوته یونجه مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک و کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بود. بیشترین عملکرد علوفه تر مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک بود. بیشترین علوفه خشک مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بدست آمد. بیشترین درصد فیبر از تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا و عدم کاربرد جلبک دریایی بدست آمد. همچنین بیشترین عملکرد فیبر از کاربرد قارچ میکوریزا و کاربرد ۱ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی حاصل شد. بیشترین الیاف خام از تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا و جلبک دریایی بدست آمد. بیشترین قابلیت هضم مربوط به کاربرد ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا و کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی بود.

کلمات کلیدی: اسید هیومیک، الیاف، جلبک دریایی، یونجه

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

تابستان ۱۴۰۴، دوره ۲۰، شماره ۲، صص ۱۳-۳۴

مقدمه و کلیات

شرایط فیزیکی و شیمیایی نامساعد حاکم بر خاک ها از قبیل فشردگی، تخریب ساختار خاک، اسیدیته نامناسب، می تواند بر قابلیت جذب عناصر غذایی اثر گذاشته و از این طریق بر عملکرد نهایی اثر منفی بگذارد (Xu et al., 2024). کاربرد برخی از میکروارگانیسم ها مانند باکتریهای سودمند گیاهی و قارچ های میکوریزا می توانند دسترسی گیاه را به عناصر غذایی مورد نیاز تسهیل نموده و تحمل آنها را در برابر برخی از شرایط نامساعد محیطی افزایش داده و در نتیجه آن منجر به بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد نهایی گیاه می گردند (Qin et al., 2021). یونجه (Alfalfa) با نام علمی (*Medicago sativa* L.) رشد این گیاه در مراحل اولیه توسط بسیاری از عوامل نامساعد ممکن است محدود گردد و در نهایت منجر به تأخیر در جوانه زنی بذور گردد که این شرایط ممکن است در شرایط محدودیت دسترسی به عناصر غذایی از قبیل آهن، منگنز، مس و روی مشاهده گردد (Bhattarai et al., 2021). مطالعات مختلف نشان داده اند که همزیستی گیاهان مختلف با قارچ های آربوسکولار میکوریزا (AMF) منجر به افزایش مقاومت گیاهان از طریق توسعه ظرفیت جذب ریشه ها، افزایش جذب مواد غذایی، تعادل پایدار یونی و افزایش فتوسنتز و میزان تولید هورمون های گیاهی می گردند (Han et al., 2024; Zhang et al., 2024; Huang et al., 2023). این قارچ های آربوسکولار میکوریزا از تعرق زیاد گیاه جلوگیری نموده و از این طریق منجر به حفر محتوای نسبی آب برگها در یک حالت ایده آل می شوند (Xu et al., 2024). جلبک

دریایی یکی از محرک های رشد گیاهی با منشأ طبیعی است که به عنوان افزایش دهنده رشد بسیاری از محصولات مورد استفاده قرار می گیرد (Kocira et al., 2018). عصاره جلبک دریایی به صورت تک یا چند ترکیبی تولید شده و ممکن است حاوی ترکیبات محرک رشد از قبیل ترکیبات حاوی نیتروژن، عناصر ریز مغذی، سیتوکینین ها، اکسین ها، جیبرلین ها، پلی آمین ها، براسینواستروئیدها و غلظت اندکی از اسید آبسزیک باشند (Kumar et al., 2024). استفاده از جلبک دریایی علاوه بر افزایش رشد گیاهی توانسته مقاومت گیاه را در برابر پاتوژن های گیاهی نیز افزایش دهد (Kocira et al., 2018). جلبک دریایی علاوه بر اینکه همانند عناصر کم مصرف و پرمصرف عمل نموده و منجر به افزایش رشد گیاه می شود، سیستم دفاعی گیاه را در برابر تنش های زیستی و غیرزیستی تقویت نموده و از این طریق پاسخ رشدی گیاه به کاربرد این عنصر بهتر از کاربرد عناصر کم مصرف و پرمصرف می باشد (Huda et al., 2023; Ali et al., 2021b). استفاده اسید هیومیک راهکار مناسبی است و از اسید هیومیک به عنوان کود آلی سازگار با طبیعت نام برده می شود (امارلو و همکاران، ۱۴۰۲). اسید هیومیک دارای مزایای زیست محیطی زیادی از قبیل جلوگیری از کاهش مواد غذایی و افزایش ترسیب کربن در خاک می باشد (Ma et al., 2024; Lv et al., 2024; Oktem and Oktem, 2020; El Bouchtaoui et al., 2024). اسید هیومیک علاوه بر تأثیر مثبتی که بر جنبه های مختلف فتوسنتز دارد با افزایش جذب فسفر، افزایش تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه، محتوای غذایی محصولات کشاورزی را بهبود

اثرات مثبتی بر عملکرد و خصوصیات کیفی یونجه داشته باشد. از این رو این مطالعه به منظور بررسی اثر کاربرد توأم مواد هیومیکی به همراه جلبک دریایی و میکوریزا بر عملکرد و خصوصیات کیفی یونجه صورت گرفت.

کبودرآهنگ، روستای طاسران با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا و مختصات عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی به اجرا درآمد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil at the test site

رس	سیلت	شن	بافت	فسفر قابل	پتاسیم قابل	نیترژن	روی	pH	هدایت الکتریکی	کربن
(%)	(%)	(%)	خاک	جذب (ppm)	جذب (ppm)	کل (%)	(ppm)		(ds/m)	آلی (%)
۳۵	۳۵	۳۰	لوم رسی	۶/۲	۲۴۳	۰/۱۳	۰/۹۷	۷/۴	۰/۳۸۵	۰/۸۷

کود حیوانی نیز در پاییز به میزان ۲۰ تن در هکتار در مزرعه مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت. کشت بصورت مسطح بوده و تراکم کاشت به مقدار ۴۰ کیلوگرم بذر یونجه همدانی در هکتار بود. تیمارهای آزمایش دو بار در طول فصل رشد یونجه، یکبار در مرحله ۳۰ سانتیمتری و بار دوم در مرحله ۵۰ سانتیمتری قبل از گلدهی گیاه بصورت محلول پاشی مورد استفاده قرار گرفتند. آبیاری گیاه بصورت بارانی بود که در طول فصل رشد هفته ای یکبار صورت می گرفت و در درجه حرارت های بالا در فصل تابستان به حدود ۴ روز یکبار می رسید. همچنین در طول فصل رشد مبارزه با علف های هرز بصورت وجین دستی یا مبارزه شیمیایی با توجه به میزان

می بخشند (Jing et al., 2020; Yuan et al., 2022; Palkar et al., 2022). با توجه به اینکه کاربرد توأم مواد هیومیکی به همراه جلبک دریایی و میکوریزا در گیاهان مختلف منجر به افزایش عملکرد شده است می توان پیش بینی نمود که کاربرد توأم آنها می تواند

فرآیند پژوهش

این مطالعه به منظور بررسی اثر مقدار مصرف اسید هیومیک، میکوریزا و جلبک دریایی بر عملکرد و کیفیت علوفه یونجه همدانی در همدان، شهرستان

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل تیمار استفاده میکوریزا در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، استفاده از اسید هیومیک شرکت بازارگان کالا در سه سطح شاهد، ۲/۵ لیتر در هکتار (دوز توصیه شده توسط شرکت سازنده) و ۵ لیتر در هکتار و عصاره جلبک دریایی شرکت آکادین کانادا در سه سطح شاهد، ۱ کیلوگرم در هکتار (دوز توصیه شده توسط شرکت سازنده) و ۱/۵ کیلوگرم در هکتار بودند. کودهای پایه NPK براساس نتایج آزمایش خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۵۰ کیلوگرم کود فسفره و ۱۵۰ کیلوگرم کود پتاسه در سال اول کشت یونجه مورد استفاده قرار گرفت و

آلودگی کرت‌های مختلف انجام شد. در طول فصل رشد تعداد دو چین برداشت انجام شد و در هر نوبت، زمانی که حدود ۱۰-۱۵٪ گیاهان گل دادند با استفاده از کوادرات به ابعاد یک متر در یک متر به صورت تصادفی از هر کرت، گیاهان از ارتفاع ۵ سانتیمتری بریده شدند، ابتدا وزن تر اندام هوایی اندازه گیری شد سپس جهت اندازه گیری وزن خشک در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند (معینی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). برای اندازه گیری صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته نیز ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و اندازه‌گیری‌ها انجام شد. صفات درصد قابلیت هضم، درصد فیبر محلول در شوینده اسیدی، درصد فیبر محلول در شوینده خنثی، درصد خاکستر کل و فیبر براساس روش Jafari و همکاران (۲۰۰۳) اندازه‌گیری شدند. پس از نمونه‌برداری، محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، مطابق طرح آماری، به کمک نرم افزار SAS با آزمون دانکن و سطح آماری یک درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثرات اصلی سال، کاربرد میکوریزا، جلبک دریایی، اسید هیومیک و اثر متقابل سال در میکوریزا و میکوریزا در جلبک دریایی معنی دار شد و سایر اثرات معنی دار نبودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد اسید هیومیک نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته یونجه با میانگین ۷۴/۳۸ سانتی‌متر مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار بود

و کمترین میزان نیز با میانگین ۶۷/۷۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بود (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک توانست میزان ارتفاع بوته یونجه را به طور معنی‌داری افزایش دهد و این افزایش بدین دلیل است که کاربرد اسید هیومیک به دلیلی اسیدی بودن منجر به آزادسازی عناصر در داخل خاک شده و دسترسی آنها برای گیاه منجر به افزایش جذب آنها و در نتیجه افزایش رشد و ارتفاع بوته می‌باشد. افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد اسید هیومیک به اثرات مثبت اسید هیومیک بر رشد گیاه و فراهمی عناصر غذایی برای گیاه می‌باشد (Ma et al., 2024). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در میکوریزا نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۸۸/۸۲ سانتی‌متر مربوط به سال دوم کاشت یونجه و تیمار کاربرد ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۵۵/۰۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) در سال اول کاشت یونجه بود (شکل ۱). در هر دو سال کاربرد مایکوریزا منجر به افزایش میزان ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد آن شد. افزایش میزان ارتفاع بوته در شرایط کاربرد مایکوریزا به دلیل اثر مایکوریزا در افزایش سطح ریشه و افزایش توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی بوده که در نهایت منجر به افزایش ارتفاع بوته شده است. برخی دیگر از مطالعات نیز بیانگر اثر مثبت کاربرد قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر ارتفاع بوته یونجه بودند (Xu et al., 2024)، که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشتند. همچنین نتایج نشان داد در مورد اثر متقابل میکوریزا در جلبک دریایی نیز بالاترین ارتفاع بوته با میانگین ۸۶/۳۴ سانتی‌متر مربوط به کاربرد ۱/۵

تأثیر مقادیر مصرف اسید هیومیک، جلبک دریایی و میکوریزا بر عملکرد، کیفیت الیاف و قابلیت هضم یونجه در همدان ۱۷

خارجی عصاره جلبک دریایی گزارش شده است (Kocira *et al.*, 2018) و دلیل این افزایش را اثر تحریک کننده جلبک دریایی بر رشد بوته لوبیا عنوان نمودند و بیان داشتند که عصاره جلبک دریایی به دلیل دارا بودن برخی از تحریک کننده های رشد گیاهی منجر به افزایش میزان ارتفاع بوته شده است. برخی دیگر از مطالعات عنوان داشتند که کاربرد خارجی عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش ارتفاع بوته شده است (Divya *et al.*, 2015) و یافته های حاصل از این مطالعه با نتایج کار این محققین مطابقت داشت.

کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بدست آمد و کمترین میزان ارتفاع برای یونجه نیز با میانگین ۵۰/۴۷ سانتی متر مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک دریایی و میکوریزا بود (جدول ۴). هر چند کاربرد میکوریزا توانست میزان ارتفاع بوته را افزایش دهد، نتایج بیانگر این مطلب بود که کاربرد توأم آن با جلبک دریایی منجر به افزایش بیشتر ارتفاع بوته گردید. به هر حال در این مطالعه کاربرد جلبک دریایی توانست میزان ارتفاع بوته گیاه یونجه را افزایش دهد. افزایش ارتفاع بوته برخی دیگر از گیاهان خانواده لگوم از قبیل لوبیا با کاربرد

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب مربوط به صفات رشدی یونجه تحت تیمارهای کاربرد قارچ میکوریزا، اسید هیومیک

و جلبک دریایی در دو سال

Table 2- Results of the composite analysis of variance (mean square) related to alfalfa growth traits under the treatments of mycorrhizal fungi, humic acid and seaweed application in two years

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ساقه در واحد سطح	تعداد برگ در بوته	نسبت برگ به ساقه	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	درصد فیبر	عملکرد فیبر	الیاف خام	غیرمحلول در شونده اسیدی	خاکستر کل	قابلیت هضم
سال	۱	۴۴۹۷/۰۶**	۱۴۱۶۷/۵۱*	۵۵۸۴/۹۰**	۰/۴۹ns	۵۷۰/۲۱**	۷۳/۶۵**	۰/۴۲ns	۲۲۶۳۷/۳ns	۰/۲۰ns	۷/۴۰ns	۲/۴۷ns	۱۳۹/۲۰ns
تکرار سال	۲	۱۰۱/۷۳**	۴۵۸۲/۶۳**	۳۳۹/۲۴**	۲/۰۵ns	۱/۵۸ns	۰/۳۷ns	۱/۱۹ns	۲۸۹۱۰۲/۲۳	۲۷/۷۴ns	۱۷/۳۸ns	۴/۲۹ns	۱۵۰/۶۸ns
میکوریزا	۱	۱۱۷۸۲/۷۹**	۳۶۴۱۰۳/۳۱*	۱۳۸۵۶/۵۹**	۳/۴۹ns	۱۴۹۵/۱۴**	۱۴۹۵/۰۷**	۲۶۴/۳۹**	۱۴۸۱۳۹/۹**	۳۵۶۰/۶**	۷۱۹/۸۱**	۶۷/۵۸**	۷۵۷/۸۶**
جلبک دریایی	۲	۲۲۰/۳۳**	۶۶۳۳۸/۹۵**	۲۷۷۹/۴۳**	۳/۱۰ns	۳۰۶/۴۱**	۴۸/۸۳**	۵۳/۰۳**	۴۲۸۳۲۶/۸**	۴۸/۱۹**	۱۱۵/۶۸**	۸/۱۹**	۱۲۰۷/۹۴**
اسید هیومیک	۲	۳۹۴/۲۲**	۱۱۵۹۴/۰۲**	۵۱۵/۰۹**	۰/۸۰ns	۵۲/۷۴**	۷/۳۴**	۳۸/۳۱**	۱۰۷۹۴/۸ns	۲۷/۰۴ns	۶۱/۰۱**	۷/۵۵**	۲۱۸/۴۵**
سال× میکوریزا	۱	۹۵/۳۳*	۳۵۳۹/۳۹**	۵۱/۵۰ns	۱/۹۰ns	۳۲/۰۳**	۰/۰۳ns	۲/۴۳ns	۵۲۷۶۴/۱ns	۴/۷۸ns	۱۱/۲۲*	۰/۳۱ns	۳۸۹/۱۲**
سال× جلبک دریایی	۲	۲۲/۸۰ns	۸۴۱/۰۰ns	۵/۹۶ns	۱/۷۵ns	۶/۶۳ns	۰/۵۷ns	۲/۳۹ns	۸۳۵۹/۸ns	۱/۰۳ns	۳/۰۲ns	۱/۲۵ns	۸۶/۴۷*
سال× اسید هیومیک	۲	۵/۹۰ns	۳۳۷/۲۲ns	۲/۲۳ns	۰/۶۸ns	۰/۳۲ns	۰/۰۹ns	۱/۶۴ns	۱۷۱۰۸/۸ns	۴/۲۵ns	۱۰/۶۶*	۰/۲۸ns	۴/۰۵ns
میکوریزا× جلبک دریایی	۲	۱۹۷/۲۱**	۵۲۱۸/۰۵**	۲۸۴/۶۷**	۲/۶۱ns	۱۷/۷۴**	۵/۲۰**	۱۲۱/۰۷*	۳۲۷۳۰۳/۲**	۲۳/۶۴*	۲/۳۲ns	۰/۹۳ns	۱۳۱/۸۴**
میکوریزا× اسید هیومیک	۲	۳/۵۳ns	۲۱۸۷۲ns	۰/۵۹ns	۰/۷۱ns	۰/۰۲ns	۰/۰۷ns	۰/۷۵ns	۳۴۹۵/۴۵ns	۱/۳۶ns	۰/۲۷ns	۰/۲۸ns	۱/۰۰ns
جلبک دریایی× اسید هیومیک	۴	۱/۴۳ns	۴۷/۹۹ns	۴/۹۶ns	۰/۵۰ns	۱/۶۴ns	۰/۱۷ns	۱/۲۴ns	۵۷۸۱/۸ns	۱/۰۶ns	۱/۲۱ns	۰/۴۹ns	۷/۵۳ns
سال× میکوریزا× جلبک دریایی	۲	۱/۰۶ns	۳۵/۷۵ns	۶/۳۶ns	۱/۷۵ns	۲/۳۷ns	۰/۳۱ns	۰/۴۶ns	۱۹۲۹۷/۵ns	۱/۸۰ns	۳/۷۷ns	۰/۲۴ns	۲۹/۸۹ns
سال× میکوریزا× اسید هیومیک	۲	۰/۳۸ns	۱۹/۹۶ns	۵/۹۸ns	۰/۶۸ns	۰/۴۳ns	۰/۲۰ns	۰/۸۸ns	۲۶۱۳۴/۰۱ns	۰/۸۹ns	۰/۳۲ns	۱/۲۳ns	۱۰/۷۱ns
سال× جلبک دریایی× اسید هیومیک	۴	۰/۵۹ns	۹۹/۰۲ns	۱/۵۶ns	۰/۵۲ns	۰/۷۷ns	۰/۰۷ns	۰/۷۸ns	۱۲۴۴۴/۷ns	۲/۱۶ns	۱/۰۷ns	۰/۵۹ns	۱۹/۸۶ns
میکوریزا× جلبک دریایی× اسید هیومیک	۴	۳/۶۰ns	۱۶۲/۸۵ns	۱/۴۱ns	۰/۵۹ns	۳/۰۴ns	۰/۱۰ns	۱/۴۷ns	۱۶۶۵۵/۸ns	۰/۴۳ns	۲/۴۴ns	۰/۳۹ns	۱۱/۸۶ns
سال× میکوریزا× جلبک دریایی× اسید هیومیک	۴	۰/۴۰ns	۲۷/۴۸ns	۲/۶۹ns	۰/۴۵ns	۱/۲۵ns	۰/۱۰ns	۱/۵۳ns	۲۸۶۷۷/۰۵ns	۰/۸۶ns	۱/۵۹ns	۰/۵۹ns	۳/۵۰ns
خطا	۷۰	۱/۸۵۷	۵۸۱/۵۱	۲۰/۳۳	۱/۵۷	۲/۳۶	۰/۵۸	۱/۵۴	۴۸۲۹۷/۵	۴/۳۹	۳/۸۶	۱/۴۱	۳۲/۶۸
ضرب تغییرات (//)	-	۶/۰۷	۶/۰۶	۶/۰۷	۶/۷۴	۵/۶۸	۷/۷۸	۷/۰۸	۱۲/۹۳	۸/۴۰	۶/۹۶	۱۰/۰۸	۹/۰۶

به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری می باشد ns و *، *

ns, * and ** are significant at the 1 and 5 percent probability levels and non-significant, respectively

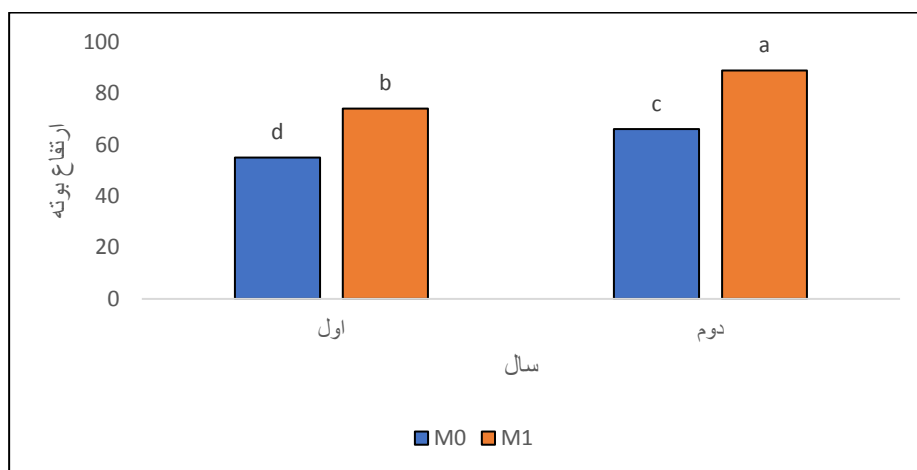
جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سال، کاربرد میکوریزا، جلبک دریایی و اسید هیومیک بر عملکرد و خصوصیات کیفی علوفه یونجه

Table 3 - Results of comparison of mean main effects of year, mycorrhiza, seaweed and humic acid application on yield and quality characteristics of alfalfa forage

تیمها	ارتفاع بوته	تعداد ساقه در واحد سطح	تعداد برگ در بوته	نسبت برگ به ساقه (%)	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار)	عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)	درصد فیبر	فیبر (کیلوگرم در هکتار)	الیاف خام (%)	الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی (درصد)	خاکستر کل (%)	قابلیت هضم (درصد)
سال												
۱	b۶۴/۵۳	b۳۶۱/۶۵	a۶۶/۹۸	a۱۸/۴۲	b۲۴/۲۱	b۸/۹۷	a۱۶/۲۴	b۱۴۲۰/۷	a۲۶/۵۳	a۳۰/۱۱	a۱۱/۲۰	a۵۹/۶۳
۲	a۷۷/۴۳	a۴۳۴/۰۹	a۸۱/۳۶	a۱۸/۷۶	a۲۸/۸۱	a۱۰/۶۲	a۱۸/۸۸	a۱۹۷۶/۶	a۲۳/۳۷	b۲۶/۳۳	a۱۲/۴۲	a۶۶/۵۳
میکوریزا												
۰	b۶۰/۵۳	b۳۳۹/۸۰	b۶۲/۸۴	a۱۸/۴۱	a۲۲/۷۹	a۸/۲۹	a۱۹/۱۳	b۱۵۸۱/۴۸	a۲۶/۷۶	a۳۰/۸۰	b۱۱/۰۳	b۵۴/۷۰
۲۰	a۸۱/۴۲	a۴۵۵/۹۳	a۸۵/۵۰	a۱۸/۷۷	b۳۰/۲۳	b۱۱/۳۰	b۲۰/۹۹	a۱۸۱۵/۷۵	b۲۳/۱۳	b۲۵/۶۴	a۱۲/۶۰	a۷۱/۴۵
جلبک دریایی												
۰	c۶۲/۸۷	c۳۵۳/۶۰	c۶۴/۹۹	a۱۸/۲۵	c۲۳/۴۹	c۸/۵۵	a۱۸/۶۷	b۱۵۷۲/۸۹	a۲۶/۰۷	a۲۹/۸۳	b۱۱/۳۸	c۵۷/۰۶
۱	b۷۱/۵۸	b۴۰۰/۶۸	b۷۵/۰۲	a۱۸/۷۳	b۲۶/۷۱	b۹/۹۷	b۱۷/۷۵	a۱۷۵۴/۹۶	b۲۵/۰۱	b۲۸/۵۵	b۱۱/۷۴	b۶۳/۵۶
۱/۵	a۷۸/۴۹	a۴۳۹/۳۲	a۸۲/۵۱	a۱۸/۷۸	a۲۹/۳۲	a۱۰/۸۶	c۱۶/۲۷	a۱۷۶۸/۰۰	c۲۳/۷۶	c۲۶/۲۹	a۱۲/۳۲	a۶۷/۶۲
اسید هیومیک												
۰	c۶۷/۷۷	c۳۸۰/۴۵	c۷۰/۵۹	a۱۸/۴۸	c۲۵/۳۰	a۹/۳۸	a۱۸/۴۸	a۱۷۰۹/۸۸	a۲۵/۶۲	a۲۹/۵۹	b۱۱/۲۹	b۶۰/۹۰
۲/۵	b۷۰/۷۸	b۳۹۶/۸۴	b۷۳/۷۹	a۱۸/۵۳	b۲۶/۵۱	b۹/۷۳	b۱۷/۷۵	a۱۷۰۷/۲۹	a۲۵/۲۳	b۲۸/۲۱	a۱۲/۰۳	b۶۲/۵۸
۵	a۷۴/۳۸	a۴۱۶/۳۰	a۷۸/۱۳	a۱۸/۷۶	a۲۷/۷۲	b۱۰/۲۷	c۱۶/۴۵	a۱۶۷۸/۶۸	b۲۳/۹۹	c۲۶/۹۲	a۱۲/۱۲	a۶۵/۷۵

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه دانکن ندارند

Means with at least one letter in common do not differ significantly at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در قارچ میکوریزا بر ارتفاع بوته یونجه (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی دار می‌باشند)

Fig 1- Results of comparing the average interaction effect of year in mycorrhizal fungi on alfalfa plant height (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)

تأثیر مقادیر مصرف اسید هیومیک، جلبک دریایی و میکوریزا بر عملکرد، کیفیت الیاف و قابلیت هضم یونجه در همدان ۱۹

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل جلبک دریایی و میکوریزا بر صفات اندازه‌گیری شده در یونجه

Table 4- Mean comparison for interaction effect of seaweed and mycorrhiza on measured traits in alfalfa

جلبک دریایی	میکوریزا	ارتفاع بوته (سانتی متر)	ساقه	تعداد	نسبت برگ به ساقه	عملکرد		درصد الیاف خام
						علوفه خشک (تن در هکتار)	فیبر (کیلوگرم در هکتار)	
شاهد	عدم کاربرد	۵۰/۴۷f	۲۸۶f	۵۱f	۱۹/۰۵f	۶/۸۱d	۲۰/۵۵a	۴۸/۸d
	کاربرد	۷۵/۲۷c	۴۲۱c	۷۸/۹۲c	۲۷/۹۴c	۱۰/۲۹b	۱۶/۸۱d	۶۵/۳b
۱ کیلوگرم در هکتار	عدم کاربرد	۶۰/۵۰e	۳۳۸e	۶۳/۳۱e	۲۳/۰۴e	۸/۲۶c	۱۹/۰۴b	۵۳/۲c
	کاربرد	۸۲/۶۶b	۴۶۳b	۸۶/۷۲b	۳۰/۳۸b	۱۱/۶۸a	۱۶/۴۶d	۷۳/۹a
۱/۵ کیلوگرم در هکتار	عدم کاربرد	۷۰/۶۳d	۳۹۴d	۷۴/۱۶d	۲۶/۲۷d	۹/۷۹b	۱۷/۸۱c	۶۲/۱b
	کاربرد	۸۶/۳۴a	۴۸۳a	۹۰/۸۵a	۳۲/۳۷a	۱۱/۹۳a	۱۴/۷۳e	۷۵/۱a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه دانکن ندارند

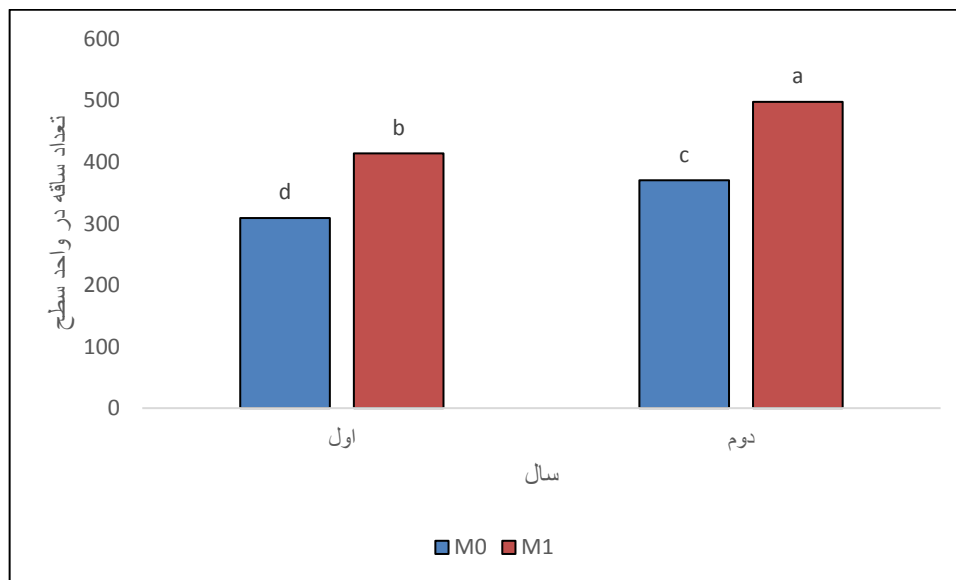
Means with at least one letter in common do not differ significantly at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test

یونجه بود (شکل ۲). تلقیح بوته با میکروارگانیزم‌های قارچی آربوسکولار میکوریزا منجر به افزایش گسترش ریشه شده و سطح جذب آنها را در واحد ریزوسفر افزایش داده که در نتیجه آن آب و مواد غذایی بیشتر و آسانتر جذب گیاه شده و منجر به افزایش رشد گیاه می‌گردد (Wang et al., 2022)، که این افزایش رشد با افزایش تعداد ساقه در بوته همراه است. در مورد اثر متقابل میکوریزا در جلبک دریایی نیز بیشترین تعداد ساقه در واحد سطح با میانگین ۴۸۳/۷۹ ساقه در واحد سطح مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بدست آمد و کمترین میزان ارتفاع برای یونجه نیز با میانگین ۲۸۶/۲۰ ساقه در واحد سطح مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک دریایی و میکوریزا بود (جدول ۴). با مصرف عصاره جلبک دریایی و رشد و توسعه بهتر ریشه ها، گیاه بهتر می تواند از عناصر موجود در خاک استفاده نموده و در نتیجه موجب رشد بهتر اندام

تعداد ساقه در واحد سطح: نتایج نشان داد تمامی اثرات اصلی سال، کاربرد میکوریزا، جلبک دریایی، اسید هیومیک و از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل سال در میکوریزا و میکوریزا در جلبک دریایی معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد اسید هیومیک نشان داد که بیشترین تعداد ساقه در بوته یونجه با میانگین ۴۱۶/۳۰ ساقه در متر مربع مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۳۸۰/۴۵ ساقه در واحد سطح مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در میکوریزا نشان داد که بیشترین تعداد ساقه در واحد سطح با میانگین ۴۹۷/۸۷ ساقه در واحد سطح مربوط به سال دوم کاشت یونجه و تیمار کاربرد ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۳۰۹/۳۱ ساقه در واحد سطح مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) در سال اول کاشت

رشد از قبیل هورمونهای مختلف گیاهی منجر به افزایش بیستر رشد گیاه شده و در نتیجه تعداد شاخه در بوته افزایش یافته است (Ali et al., 2019). در برخی دیگر از مطالعات مشابه کاربرد عصاره جلبک دریایی سبب شد که تعداد ساقه در بوته افزایش یابد (Huda et al., 2023)، که با یافته‌های حاصل از این مطالعه تطابق داشت.

های هوایی گیاه می‌شود. در این صورت تعداد مریستم های آغازنده شاخه های فرعی نیز روی ساقه یونجه افزایش یافته و موجب افزایش در تعداد شاخه های فرعی خواهد شد. افزایش تعداد ساقه در بوته در اثر کاربرد جلبک دریایی بدین دلیل است که کاربرد عصاره جلبک دریایی سبب شد که مواد غذایی مشتمل بر عناصر ماکرو و میکرو به میزان بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و به علاوه با وجود مقادیر زیاد محرک



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در قارچ میکوریزا بر تعداد ساقه در واحد سطح (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی‌دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند)

Fig 2 - Results of comparing the average interaction effect of year in mycorrhizal fungi on the number of stems per unit area (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)

کاربرد اسید هیومیک تا ۵ لیتر در هکتار توانست روند افزایش خطی را در تعداد برگ در بوته یونجه ایجاد نماید و اختلاف بین سطوح‌های مختلف آن معنی‌دار بود. به علاوه بایستی به این نکته نیز توجه نمود که کارایی بیشتر اسید هیومیک در افزایش رشد و در نتیجه آن افزایش تعداد برگ در بوته وابسته به شرایط بهینه محیطی به خصوص آب کافی در خاکی می‌باشد (Ma et al., 2024). زیرا در شرایط خشک، رطوبت محدود

تعداد برگ در بوته: بیشترین تعداد برگ در بوته با میانگین ۷۸/۱۳ مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۷۰/۵۹ مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بود (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش تعداد برگ در بوته شد. افزایش تعداد برگ در بوته واکنشی به افزایش رشد گیاه بوده که با فراهمی مواد غذایی ناشی از کاربرد اسید هیومیک در خاک ایجاد شده است. افزایش میزان

محققین افزایش تعداد برگ در بوته در اثر کاربرد جلبک دریایی را به افزایش رشد ناشی از وجود مواد مغذی میکرو و ماکرو در عصاره جلبک دریایی نسبت دادند (Divya et al., 2015). افزایش رشد و در نتیجه آن افزایش تعداد برگ در بوته در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی در برخی دیگر از مطالعات گزارش شده است (Huda et al., 2023)

نسبت برگ به ساقه: نتایج تجزیه واریانس مربوط به نسبت برگ به ساقه یونجه تحت تیمارهای مختلف کاربرد قارچ میکوریزا، اسید هیومیک و جلبک نشان داد که هیچ یک از عوامل تأثیر معنی داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲).

عملکرد علوفه تر: نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد اسید هیومیک نشان داد که بیشترین علوفه تر یونجه با میانگین ۲۷/۷۲ تن در هکتار مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۲۵/۳۰ تن در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بود (جدول ۳). کاربرد مقادیر بالاتر اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد تر یونجه گردید. افزایش عملکرد وابسته به شرایط بهینه رشدی و افزایش دسترسی به عناصر و جذب بیشتر آنهاست. کاربرد اسید هیومیک شرایطی را فراهم نموده که میزان جذب عناصر و به خصوص جذب نیتروژن و کارایی استفاده از نیتروژن را افزایش داده و از این طریق بر عملکرد نهایی گیاه اثر مثبت دارد (Ma et al., 2024). البته بایستی به این نکته هم توجه نمود که کارایی اسید هیومیک و کارایی مصرف نیتروژن موجود در خاک در شرایطی که اسیدیته خاک بالاتر (قلیایی تر) باشد بیشتر از زمانی است که خاک اسیدیته متوسطی دارد. در این

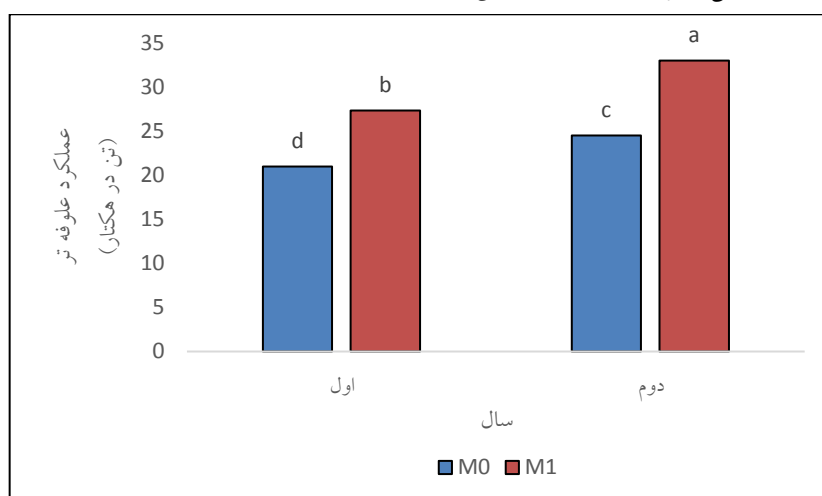
خاک ممکن است انحلال و انتقال اسید هیومیک را محدود کند و فراهمی زیستی و کارایی آن را کاهش دهد (Palkar et al., 2022). آب محدود به طور قابل توجهی توزیع فضایی و گونه زایی شیمیایی اسید هیومیک در ماتریس های خاک را تغییر می دهد و به طور بالقوه تعامل آن را با ریشه های گیاه و میکروب های خاک محدود می کند و از جذب بهینه مواد غذایی توسط گیاه جلوگیری می نماید که همین امر بر رشد و تشکیل تعداد اندام هوایی به خصوص برگ گیاه اثر منفی دارد (Ma et al., 2024). در مورد اثر متقابل میکوریزا در جلبک دریایی نیز بیشترین تعداد برگ در بوته با میانگین ۹۰/۸۵ مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بدست آمد و کمترین تعداد برگ در بوته برای یونجه نیز با میانگین ۵۱/۰۶ سانتی متر مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک دریایی و میکوریزا بود (جدول ۴). گیاه یونجه یکی از گیاهانی است که توانایی بالایی در تشکیل زندگی همزیستی با قارچ های آربوسکولار میکوریزا داشته و هرچه میزان کلونیزاسیون میکوریزی قوی تر با گیاه تشکیل گردد توانایی قارچ های آربوسکولار در زمینه بهبود خصوصیات رشدی گیاه نتیجه بهتری حاصل شده (Xu et al., 2024). در این مطالعه علاوه بر کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد جلبک دریایی نیز منجر به افزایش تعداد برگ در بوته شد. افزایش تعداد برگ در بوته در نتیجه افزایش تحریک رشد در بوته یونجه در اثر وجود برخی از تحریک کننده های رشد و همچنین وجود برخی از عناصر ریزمغذی در عصاره جلبک دریایی می باید (Kumar et al., 2024). برخی دیگر از

ساقه در واحد سطح با میانگین ۳۲/۳۷ تن در هکتار مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بدست آمد و کمترین میزان ارتفاع برای یونجه نیز با میانگین ۱۹/۰۵ تن در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک دریایی و میکوریزا بود (جدول ۴). اثر متقابل اسید هیومیک و جلبک اگرچه سبب افزایش عملکرد علوفه گردید اما این افزایش معنی دار نبود. علت این پدیده را می توان در دو عامل جستجو کرد: اول اینکه یونجه بومی مناطق سردسیر (مانند همدان) است و بنابراین نسبت به تغییرات شرایط محیطی تا حد زیادی سازگار شده است. دوم اینکه این گیاه به دلیل چندساله بودن و داشتن سیستم ریشه ای عمیق یک گیاه مقاوم بوده و همین عامل نیز سبب موفقیت این گیاه برای مقابله با شرایط نامساعد محیطی مانند سرما گردیده است. بنابراین عدم واکنش معنی دار نسبت به اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی در این گیاه در منطقه ای مانند همدان دور از انتظار نیست. کاربرد جلبک دریایی نسبت به تیمار عدم کاربرد آن توانست میزان عملکرد تر بوته را افزایش دهد. افزایش عملکرد تر بوته یونجه در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی به دلیلی افزایش تعداد ساقه و برگ می باشد. افزایش تعداد ساقه و برگ نیز به دلیل اثر تحریک کنندگی رشد عصاره جلبک دریایی و وجود برخی مواد غذایی میکرو و ماکرو در این عصاره بوده و به علاوه وجود برخی هورمونهای رشدی از قبیل اکسین و سیتوکینین منجر به افزایش بیشتر عملکرد در گیاه شده است (Kumar et al., 2024). در برخی دیگر از مطالعات گزارش شده است که کاربرد عصاره جلبک دریایی به دلیل اثر مثبت در

مطالعه کاربرد مقدار ۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک نسبت به کاربرد مقادیر کمتر آن در افزایش عملکرد خشک اثر بیشتری داشت. کاربرد مقادیر بالای اسید هیومیک در افزایش عملکرد ماده خشک می تواند ناشی از فراهمی مواد غذایی و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه باشد (امارلو و همکاران، ۱۴۰۲). این در حالی است که تأثیر غلظت های بالای اسید هیومیک بر ماده ی خشک تولیدی بستگی به منبع مواد آلی برای تهیه ی اسید هیومیک دارد و این تأثیر در افزایش غلظت اسید هیومیک استخراج شده از منابع مختلف متفاوت می باشد (Aylaj et al., 2023). همچنین عنوان شده است که افزایش وزن ماده خشک تولیدی با کاربرد مواد هیومیکی میتواند به دلیل تولید محرکهای رشد شبه اکسین باشد که موجب افزایش فعالیتهای بیوشیمیایی گیاه می شوند (Jing et al., 2020). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در میکوریزا نشان داد که بیشترین علوفه تر با میانگین ۳۳/۰۷ تن در هکتار مربوط به سال دوم کاشت یونجه و تیمار کاربرد ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۲۱/۰۳ تن در هکتار مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) در سال اول کاشت یونجه بود (شکل ۳). عملکرد تر بوته یونجه در واحد سطح وابسته به کاربرد کودهای آلی از قبیل قارچ چهار آربوسکولار میکوریزا بوده و کاربرد این قارچها توانست میزان عملکرد تر و خشک این گیاه را نسبت به تیمار عدم کاربرد آن به طور معنی داری افزایش دهد (Xu et al., 2024) که تأیید کننده نتایج حاصل از این مطالعه بود. در مورد اثر متقابل میکوریزا در جلبک دریایی نیز بیشترین تعداد

طریق میزان رشد اندام هوایی گیاه را بهبود بخشیده و در نتیجه عملکرد تر نیز افزایش یافته است. جلبک دریایی برپایه فراهمی مواد غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم عمل نموده و به علاوه میکروالمنت‌ها را نیز در اختیار گیاه قرار داده و منجر به بهبود متابولیسم گیاه می‌گردد (Karthick et al., 2023).

افزایش دسترسی گیاه به عناصر ماکرو و میکرو منجر به افزایش همه خصوصیات مرتبط با رشد گیاه شده و در نتیجه آن عملکرد نهایی گیاه نیز افزایش یافته است (Ali et al., 2019, 2021a and 2021b). به عقیده Huda و همکاران (۲۰۲۳) کاربرد عصاره جلبک دریایی منجر به بهبود خصوصیات خاک و همچنین افزایش فراهمی موادی از قبیل نیتروژن شده و از این



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در قارچ میکوریزا بر عملکرد علوفه تر (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی‌دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند)

Fig 3- Results of comparing the average interaction effect of year in mycorrhizal fungi on fresh forage –yield (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)

نگهداری آب خاک می‌تواند منجر به دسترسی بیشتر گیاه به مواد مغذی شده و رشد ریشه را تقویت کند و منجر به جذب موثرتر مواد مغذی توسط گیاهان می‌گردد (Ampong et al., 2022). علاوه بر این، اسید هیومیک می‌تواند پایداری خاکدانه‌ها را تا ۲۰٪ افزایش دهد و در نتیجه تخلخل خاک و نرخ نفوذ آب را بهبود بخشد (Olk et al., 2018). همچنین با گرمتر شدن هوا میزان کارایی اسید هیومیک افزایش می‌یابد که افزایش اثربخشی اسید هیومیک در شرایط گرمتر نیز ممکن است به افزایش فعالیت متابولیک گیاه نسبت داده شود، چون دماهای بالاتر به طور کلی باعث

علوفه خشک: اثر اصلی کاربرد اسید هیومیک نشان داد که بیشترین علوفه خشک یوته با میانگین ۱۰/۲۷ تن در هکتار مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۹/۳۸ تن در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بود (جدول ۳). مشابه با علوفه تر، کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد علوفه خشک در یونجه گردید. اسید هیومیک منجر به حفظ رطوبت خاک شده و به خصوص در مناطق پرباران این وضعیت بهبود یافته و به طور بالقوه از طریق اثرات آن بر ساختار و ظرفیت

ترجیح می‌دهند که با هم یک سیستم همزیستی تشکیل داده و قرابت و انتخاب متقابل در آنها زنده‌مانی و توسعه سیستم قارچی را تعیین می‌نماید (Wang et al., 2022). این پدیده ممکن است با نیازهای تغذیه‌ای متفاوت و نوع سلول‌های ریشه در گیاهان مختلف در ارتباط باشد و به علاوه اختلاف در طول و عرض جغرافیایی منطقه و تغییرات آب، نور، دما و گرادیان خاک روی تنوع این قارچهای آربوسکولار میکوریزا اثر دارد (Zaho et al., 2020). علاوه بر این عواملی از قبیل رفتارهای حشرات، تغییرات اقلیمی، افزایش نیتروژن و فسفر و دخالت‌های انسانی نیز روی تنوع قارچهای آربوسکولار میکوریزا اثر دارند (Li et al., 2023). به هر حال نتایج بیانگر این واقعیت بود که افزایش عملکرد خشک مشابه با افزایش عملکرد تر یونجه در اثر کاربرد جلبک دریایی افزایش یافت. افزایش عملکرد خشک همانند عملکرد تر به دلیل افزایش رشد اندام‌های همایی از قبیل افزایش تعداد ساقه و برگ رخ داد که دلیل این افزایش اثر تحریک کنندگی رشد عصاره جلبک دریایی عنوان شده است (Divya et al., 2015). به علاوه عنوان شده است که کاربرد عصاره جلبک دریایی جمعیت میکروبی خاک را بهبود داده، تنفس خاک را افزایش داده و در نهایت رشد و عملکرد هویج را افزایش داده است (Alam et al., 2024). همچنین افزایش عملکرد نهایی گوجه فرنگی در اثر کاربرد جلبک دریایی بدین دلیل بود که کاربرد جلبک دریایی سیستم ریشه‌ای در گوجه فرنگی را بهبود بخشید و در نتیجه با افزایش میزان جذب عناصر غذایی از خاک موجب افزایش میزان آنها در اندام‌های هوایی گیاه شد که در نهایت با افزایش انتقال

افزایش سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شوند و به گیاهان اجازه دهد تا به طور موثرتری از افزایش در دسترس بودن مواد مغذی و اثرات محرک رشد مرتبط با کاربردهای اسید هیومیک استفاده کنند. (Ma et al., 2024). در مورد اثر متقابل میکوریزا در جلبک دریایی نیز بیشترین علوفه خشک با میانگین ۱۱/۹۳ تن در هکتار مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی به همراه ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا بدست آمد و کمترین میزان علوفه خشک برای یونجه نیز با میانگین ۶/۸۱ تن در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک دریایی و میکوریزا بود (جدول ۴). از آنجا که در مرکز ساختمان حلقه‌ای پورفیرین کلروفیل ها اتم منیزیم (Mg) قرار گرفته است، افزایش میزان فتوسنتز به فراوانی عنصر منیزیم موجود در عصاره جلبکی که نقش حیاتی در سازماندهی کلروفیل دارد، نسبت داده شده است (Olk et al., 2018). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا به عنوان یکی از انواع کودهای زیستی نه فقط منجر به افزایش جذب مواد غذایی و آب توسط گیاه می‌شوند، بلکه مقاومت گیاه به بیماریها و شرایط نامساعد محیطی را افزایش داده که همین امر در افزایش کارایی گیاه ر مزرعه اثر مثبت دارد (Marro et al., 2022). همچنین بایستی در نظر داشت که جمعیت قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا وابسته به شرایط خاک، شرایط تغذیه‌ای خاک و پویایی جمعیت میکروبی بوده که در شرایط محدودیت‌های تغذیه‌ای مقدار آنها تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (Blažková et al., 2021). همچنین مشخص شده است که قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا و گیاهان میزبان

درصد از تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا و عدم کاربرد جلبک دریایی بدست آمد و کمترین درصد فیبر نیز با میانگین $14/73$ درصد مربوط به کاربرد $1/5$ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی و 20 کیلوگرم در هکتار قارچ میکوریزا بود (جدول ۴). کودهای میکوریزا و جلبک دریایی می‌توانند به بهبود جذب مواد معدنی و مواد غذایی توسط گیاهان کمک کنند (Langer et al., 2009). این افزایش در جذب مواد معدنی ممکن است منجر به تغییر در ساختار شیمیایی گیاهان شود و در نتیجه، ترکیب فیبر در یونجه تغییر کند (Szajdak et al., 2004). از این رو، تأثیرات متقابل و مختلف این کودها ممکن است باعث کاهش درصد فیبر در یونجه شود. این نتایج تاکید می‌کنند که تأثیرات کودها بر ترکیب و مقدار فیبر در گیاهان ممکن است پیچیده و چندجانبه باشد و بستگی به شرایط محیطی و تغذیه‌ای داشته باشد. کاربرد جلبک دریایی درصد فیبر در گیاه یونجه را کاهش داد. یکی از دلایلی که می‌تواند روی کاهش درصد فیبر در گیاه اثرگذار باشد بدین دلیل است که جلبک دریایی خود حاوی برخی عناصر ریزمغذی و عناصر ماکرو بوده و افزایش میزان مواد معدنی می‌تواند روی درصد فیبر اثر منفی بگذارد. افزایش نسبت برخی از عناصر در اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه در اثر کاربرد جلبک دریایی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Huda et al., 2023; Ali et al., 2021b).

عملکرد فیبر یونجه: بیشترین عملکرد فیبر با میانگین $1930/5$ کیلوگرم در هکتار از کاربرد قارچ میکوریزا و کاربرد 1 کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی حاصل شد و کمترین مقدار نیز با میانگین $1404/1$ کیلوگرم در

این مواد به مقاصد فیزیولوژیک، عملکرد نهایی گوجه را افزایش داد (Ali et al., 2016). افزایش خصوصیات مرتبط با رشد گیاه منجر به افزایش عملکرد نهایی گیاه در اثر کاربرد جلبک دریایی شد (Huda et al., 2023). با کاربرد عصاره جلبک دریایی در خاک انرژی لازم جهت فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک فراهم شده و این میکروارگانیسم‌ها دسترسی گیاه به مواد مغذی از قبیل نیتروژن را افزایش داده و به علاوه خصوصیات فیزیکی خاک را نیز اصلاح نموده و از این طریق بر میزان رشد و عملکرد گیاه اثر مثبت دارند (Huda et al., 2023). به علاوه کاربرد عصاره جلبک دریایی ریزمغذی‌هایی از قبیل آهن، روی و منگنز و همچنین پتاسیم، منیزیم، گوگرد بیشتری در اختیار گیاه قرار داده و از این طریق روی عملکرد نهایی اثر مثبت دارد (Ali et al., 2021a).

درصد فیبر: نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات کیفی یونجه نشان داد که اثرات اصلی کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک دریایی، اسید هیومیک و همچنین اثرات متقابل کاربرد قارچ میکوریزا و جلبک دریایی بر درصد فیبر در یونجه معنی دار شد و سایر اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی کاربرد اسید هیومیک نشان داد که بیشترین درصد فیبر با میانگین $18/48$ درصد مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بود و کمترین درصد فیبر نیز با میانگین $16/45$ درصد مربوط به کاربرد 5 لیتر در هکتار اسید هیومیک بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل کاربرد قارچ میکوریزا در جلبک دریایی نیز نشان داد که بیشترین درصد فیبر با میانگین $20/55$

از بین عوامل مورد بررسی تنها اثر اصلی کاربرد قارچ میکوریزا و کاربرد جلبک دریایی و اثر متقابل این دو معنی دار شد و سایر اثرات اصلی و متقابل دوگانه و سه گانه تأثیری بر الیاف خام یونجه نداشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد قارچ میکوریزا در جلبک دریایی نشان داد که بیشترین الیاف خام با میانگین $28/38$ درصد از تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا و جلبک دریایی بدست آمد و کمترین الیاف خام نیز با میانگین $22/36$ درصد مربوط به کاربرد 20 کیلوگرم در متر مربع قارچ میکوریزا و $1/5$ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی بود (جدول ۴). تحقیقات پیشین نیز نشان داده‌اند که کاربرد میکوریزا و جلبک دریایی می‌تواند به بهبود کیفیت و محتوای عناصر مغذی در گیاهان منجر شود (Nadian et al., 2013)، که ممکن است تأثیر مثبتی بر روی مقدار الیاف خام داشته باشد. این نتایج نشان می‌دهند که تأثیر متقابل کاربرد میکوریزا و جلبک دریایی ممکن است به ترکیبی از فرایندهای تغذیه‌ای و بیولوژیکی بازگشت که تأثیرات مثبت بر کیفیت و محتوای عناصر مغذی در علوفه‌های گیاهی دارد، منتج شود. به هر حال در این مطالعه کاربرد عصاره جلبک دریایی و میکوریزا سبب شد که میزان الیاف خام تولیدی کاهش یابد. شاید یکی از دلایل این کاهش افزایش جاذی عناصر معدنی و به دنبال آن اثر بیشتر بر میزان خاکستر تولیدی در اثر کاربرد تیمارهای میکوریزا و عصاره جلبک دریایی باشد. در برخی دیگر از مطالعات نتایجی به دست آمد که تأیید کننده نتایج حاصل از این مطالعه بود (Liu et al., 2020). این محققین اشاره نمودند که با کاربرد فسفر و میکوریزا در مراحل اولیه رشد یونجه

هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف قارچ میکوریزا و جلبک دریایی بود (جدول ۴). هر چند کاربرد عصاره جلبک دریایی منجر به کاهش درصد فیبر یونجه شد ولی نتایج بیانگر این موضوع بود که عصاره جلبک دریایی میزان عملکرد فیبر یونجه را افزایش داد. افزایش عملکرد فیبر یونجه بر خلاف کاهش درصد فیبر بدین دلیل است که کاربرد عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش رشد گیاه در اثر دسترسی بیشتر گیاه به عناصر ریزمغذی می‌باشد و در نهایت افزایش عملکرد گیاه با افزایش عملکرد فیبر همراه بوده است. به علاوه عنوان شده است که افزایش عملکرد گیاه و در نتیجه خصوصیات مرتبط با عملکرد آن از قبیل عملکرد فیبر در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی می‌تواند بدین دلیل باشد که مواد تنظیم کننده رشد موجود در عصاره جلبک دریایی بیوستنز هورمون‌های گیاهی از قبیل فیتوهورمون‌هایی نظیر آبسزیک اسید، سیتوکینین و اکسین را در گیاه افزایش داده است (Mukherjee and Patel, 2020). تحقیقات متعدد در زمینه ارتباط میان میزان فیبر و میزان پروتئین در محصولات کشاورزی انجام شده است. بر اساس نتایج این تحقیقات، به نظر می‌آید که وجود یک رابطه معکوس میان میزان فیبر و میزان پروتئین در گیاهان ممکن است واقعی باشد (Mukherjee and Patel, 2020). این رابطه معکوس به این معناست که هرچه میزان فیبر در گیاهان بیشتر باشد، ممکن است میزان پروتئین کاهش یابد.

الیاف خام: نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات کیفیت علوفه یونجه تحت تیمارهای مختلف کاربرد کود بیولوژیک در دو سال اجرای آزمایش نشان داد که

یونجه کاسته است. اگر کاربرد میکوریزا منجر به بهبود جذب عناصر مختلف توسط یونجه گردد ممکن است روی کیفیت الیاف یونجه اثر منفی بگذارد، هر چند که کیفیت تغذیه‌ای آن را افزایش می‌دهد (Liu et al., 2020). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه سال در کاربرد اسید هیومیک نشان داد که بیشترین درصد الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی با میانگین ۳۱/۲۱ درصد مربوط به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و در سال اول بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۲۵/۴۵ درصد مربوط به سال دوم و در تیمار کاربرد ۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار بود (شکل ۵). نکته قابل توجه که در این نتایج مشاهده می‌شود با بهبود شرایط رشدی میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی کاهش یافته است به نظر می‌رسد این ترکیبات موجب بد هضمی در بافت یونجه می‌شود. محتوای الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی، نشانگری برای دیواره‌ی سلولی در علوفه است، که از جمله سلولز و لیگنین تشکیل شده است. این ویژگی نشان می‌دهد که علوفه چه میزان قابلیت هضم توسط دام‌ها دارد، و افزایش این شاخص می‌تواند به ارتقاء قابلیت هضم و ارزش تغذیه‌ای علوفه کمک کند (Albayrak and Camas, 2002). کاربرد جلبک دریایی به نظر می‌آید می‌تواند این مقدار را کاهش دهد. در مورد میکوریزا، نتایج نشان می‌دهند که تیمار عدم مصرف میکوریزا در سال اول باعث بالا رفتن میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی شده است. این ممکن است به دلیل تأثیرات مثبتی که میکوریزا بر جذب مواد معدنی و تأثیرات متقابل با گیاه دارد باشد. با افزایش سال و کاهش تأثیر مثبت میکوریزا، مقدار الیاف غیرمحلول نیز کاهش

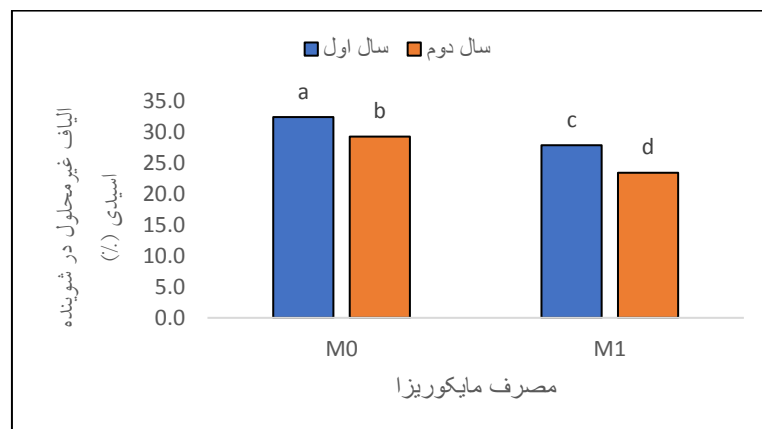
مقدار الیاف خام ابتدا تا حدودی افزایش و پس از آن کاهش یافت.

الیاف غیرمحلول در شوینده های اسید (ADF):

بیشترین الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی در تیمار عدم کاربرد جلبک دریایی بدست آمد و کمترین میزان برای این صفت با میانگین ۲۶/۲۹ درصد مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی بود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در میکوریزا نیز نشان داد که بیشترین میزان برای این صفت با میانگین ۳۲/۴ درصد از سال اول و در تیمار عدم مصرف میکوریزا بدست آمد و کمترین میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی نیز با میانگین ۲۳/۴ درصد مربوط به سال دوم و در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در متر مربع میکوریزا بود (شکل ۴). براساس این نتایج مشخص شد که کاربرد میکوریزا منجر به کاهش میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی شد و در تیمار عدم کاربرد میکوریزا مقدار آن افزایش داشت. نتایج مشابهی در مطالعه Liu و همکاران (۲۰۲۰) بدست آمد. این محققین اشاره نمودند که با کاربرد فسفر و میکوریزا در مراحل اولیه رشد یونجه مقدار الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی ابتدا تا حدودی افزایش و پس از آن کاهش یافت. بایستی در نظر داشت که الیاف خام و الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی از خصوصیات وابسته به کیفیت گیاه یونجه بوده و هر عاملی که روی آنها اثر بگذارد به طور مستقیم روی کیفیت علوفه تولیدی اثر می‌گذارد (Larson and Mayland, 2017). پس در این مطالعه کاربرد میکوریزا که منجر به کاهش الیاف خام و الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی شده است تا حدودی از کیفیت الیاف

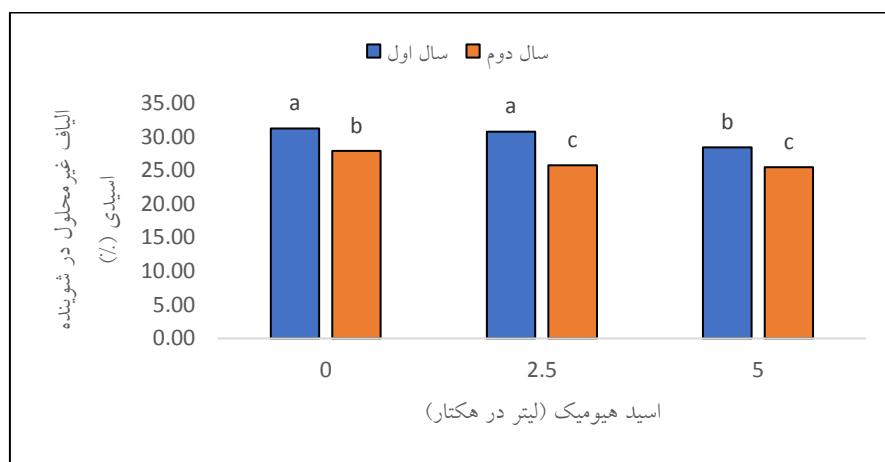
کاهش یافته است. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که عوامل مختلف می‌توانند بر مقدار الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی تأثیر بگذارند، و این تأثیرات ممکن است با تغییرات در شرایط رشدی و محیطی متغیر باشند. این نتایج با یافته‌های An و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

یافته است. در مورد اسید هیومیک، تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک در سال اول باعث بالا رفتن میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی شده است. این ممکن است به دلیل تأثیرات محافظتی اسید هیومیک بر گیاه در مقابل استرس‌های محیطی باشد. با افزایش سال و کاهش تأثیر اسید هیومیک، مقدار الیاف غیرمحلول



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه سال و کاربرد قارچ میکوریزا بر الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی یونجه (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی‌دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند)

Fig 4- Results of comparing the average of the two-way interaction effect of year and mycorrhizal fungus application on insoluble fibers in alfalfa acid detergent (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه سال و کاربرد اسید هیومیک بر الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی یونجه (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی‌دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند)

Fig 5- Results of comparing the average of the two-way interaction effect of year and humic acid application on insoluble fibers in alfalfa acid detergent (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)

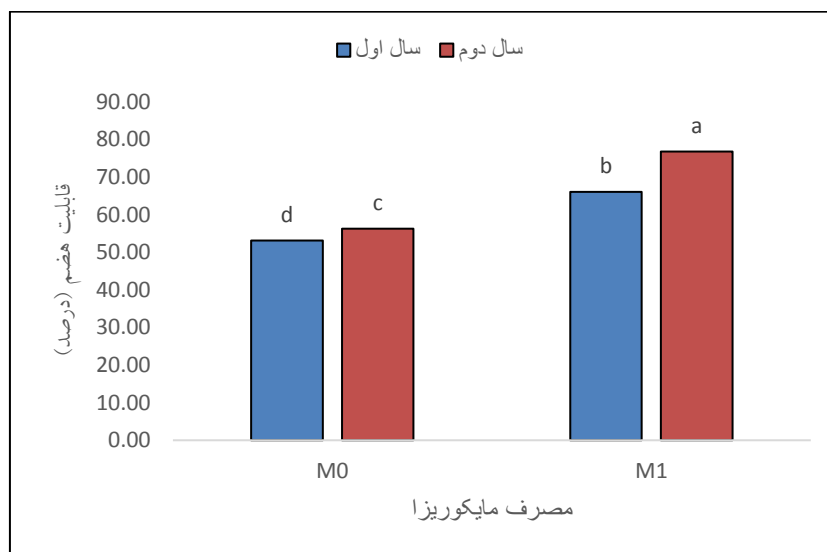
بهبود داده و به دنبال آن میزان خاکستر کل نیز افزایش یافته است. جلبک دریایی ممکن است نیتروژن قابل جذب توسط گیاه را افزایش داده و به تأمین عناصر معدنی مختلف کمک نماید. نتایج مقایسه میانگین مربوط به کاربرد اسید هیومیک نیز نشان داد که بیشترین خاکستر کل با میانگین ۱۲/۱۲ درصد مربوط به کاربرد ۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک بود و کمترین خاکستر کل نیز با میانگین ۱۱/۲۹ درصد از تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بدست آمد (جدول ۳).

قابلیت هضم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک دریایی، اسید هیومیک و همچنین اثر متقابل سال در کاربرد قارچ میکوریزا، سال در جلبک دریایی و میکوریزا در جلبک دریایی بر قابلیت هضم علوفه یونجه در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی دار شد ولی سایر اثرات متقابل دو گانه و سه گانه معنی دار نبودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه سال در مصرف قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین قابلیت هضم با میانگین ۷۶/۸۱ درصد مربوط به کاربرد ۲۰ کیلوگرم در متر مربع قارچ میکوریزا و در سال دوم بود و کمترین قابلیت هضم علوفه نیز با میانگین ۵۳/۱۵ درصد مربوط به عدم مصرف قارچ میکوریزا و در سال اول آزمایش بود (شکل ۶). قابلیت هم یونجه بستگی به میزان فیبر و برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه داشته و مطالعات نشان داده است که در شرایط تیمار گیاه یونجه با قارچ های آربوسکولار میکوریزا، خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه از قبیل میزان کلروفیل و برخی فعالیت های آنزیمی افزایش یافته (Xu et al., 2024) و همین امر ممکن است بر قابلیت هم یونجه اثر بگذارد.

خاکستر کل: نتایج نشان داد بیشترین خاکستر کل با میانگین ۱۲/۶۰ درصد مربوط به مصرف مصرف ۲۰ کیلوگرم در متر مربع قارچ میکوریزا بود و کمترین خاکستر کل نیز با میانگین ۱۱/۰۳ درصد مربوط به عدم مصرف بود (جدول ۳). تأثیر افزودن کودهای قارچ میکوریزا، جلبک دریایی و اسید هیومیک بر افزایش خاکستر کل در علوفه یونجه می تواند به عوامل متعددی منطبق باشد. به عنوان مثال، قارچ میکوریزا ممکن است با توسعه ریزساختارهای ریشه ای گیاهان، عناصر معدنی را به بهبود جذب و ذخیره سازی در گیاهان کمک کند. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر اصلی کاربرد جلبک دریایی نیز نشان داد که بیشترین خاکستر کل با میانگین ۱۲/۳۲ درصد مربوط به کاربرد ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۱۱/۳۸ درصد از عدم مصرف جلبک دریایی بدست آمد (جدول ۳). در این مطالعه مشخص شد که کاربرد جلبک دریایی منجر به افزایش خاکستر کل در گیاه یونجه گردید. خاکستر کل در نتیجه افزایش مواد معدنی جذب شده در اندام های هوایی گیاه و همچنین در اثر افزایش میزان بیوماس هوایی گیاه افزایش می یابد. با توجه به اینکه کاربرد عصاره جلبک دریایی علاوه بر اینکه حاوی عناصر معدنی بوده و میزان عناصر معدنی در اندام های گیاه را افزایش داده است (Huda et al., 2023)، میزان جذب عناصر و همچنین میزان رشد گیاه یونجه را افزایش داده که در نتیجه آن میزان خاکستر کل نیز افزایش یافته است. کاربرد عصاره جلبک دریایی با بهبود خصوصیات خاک و افزایش مقدار عناصری از قبیل نیتروژن در اندام های هوایی گیاه رشد گیاه را

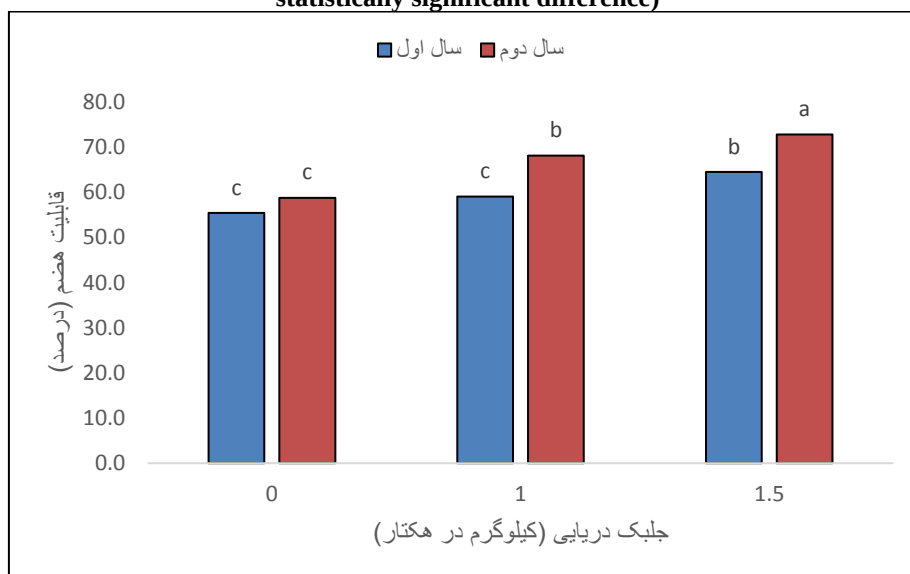
از قبیل پرولین، قندهای محلول و فیتوهورمونهای مختلفی شده (Patel et al., 2018)، که برآیند این خصوصیات فیزیولوژیک منجر با افزایش قابلیت هضم یونجه شده است. در این مطالعه در سال دوم آزمایش، با افزایش مصرف قارچ میکوریزا، قابلیت هضم علوفه یونجه بهبود یافته و این می‌تواند به نوعی از هماهنگی بهتر میان گیاهان یونجه و قارچ میکوریزا در این سال خصوصیت داشته باشد. در مورد جلبک دریایی نیز، مصرف آن در سال دوم باعث افزایش قابلیت هضم علوفه یونجه شده است، که ممکن است به بهبود تخلیه مواد مغذی و قابلیت هضم علوفه کمک کرده باشد. در مورد تأثیر متقابل کاربرد قارچ میکوریزا در جلبک دریایی، مشاهده می‌شود که با ترکیب این دو کود، قابلیت هضم علوفه یونجه افزایش می‌یابد. این می‌تواند به بهبود ترکیب مغذی علوفه یونجه کمک کند و نتایج مشابهی با تحقیقات مشابه در این زمینه داشته باشد. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که مصرف کودها و کاربردهای مختلف ممکن است تأثیرات متغیری بر قابلیت هضم علوفه یونجه داشته باشد و این تأثیرات به عوامل مانند نوع کود، مقدار مصرف و سال‌های آزمایش بستگی دارند. تحقیقات مختلف در زمینه تأثیرات مواد مغذی بر کیفیت و قابلیت هضم علوفه‌های گیاهی مانند یونجه انجام شده است.

در مورد نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در کاربرد جلبک دریایی نیز بالاترین قابلیت هضم علوفه یونجه با میانگین $72/8$ درصد مربوط به سال دوم و در تیمار کاربرد $1/5$ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی بود و کمترین قابلیت هضم نیز با میانگین $55/4$ درصد مربوط به سال اول و عدم کاربرد جلبک دریایی بود (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد قارچ میکوریزا در جلبک دریایی نیز نشان داد که بیشترین قابلیت هضم با میانگین $75/1$ درصد مربوط به کاربرد 20 کیلوگرم در متر مربع قارچ میکوریزا و کاربرد $1/5$ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی بود و کمترین میزان قابلیت هضم علوفه یونجه نیز با میانگین $48/8$ درصد مربوط به عدم کاربرد قارچ میکوریزا و جلبک دریایی بود (جدول ۴). کاربرد عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش قابلیت هضم یونجه شده است. افزایش قابلیت هضم یونجه نشان دهنده افزایش کیفیت علوفه تولیدی بوده و ممکن است مکانیسم‌های فیزیولوژیکی ناشی از کاربرد عصاره جلبک دریایی در افزایش کیفیت علوفه اثرگذار بوده است. کاربرد عصاره جلبک دریایی با پالایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) خسارت اکسیداتیو ناشی از استرس‌های محیطی را کاهش داده و منجر به افزایش نفوذپذیری غشایی، کاهش نشت الکترولیتها، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از قبیل سوپراکسید دیسموتاز و حفات کننده‌های اسمزی



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه سال در کاربرد قارچ میکوریزا بر قابلیت هضم علوفه یونجه (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی‌دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند)

Fig 6- Results of comparing the average of the two-way interaction effect of year in the use of mycorrhizal fungi on the digestibility of alfalfa forage (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه سال در کاربرد جلبک دریایی بر قابلیت هضم علوفه یونجه (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف معنی‌دار هستند، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند)

Fig 7- Results of comparing the mean of the two-way interaction effect of year in seaweed application on alfalfa forage digestibility (Columns that have at least one significant letter do not have a statistically significant difference)

شد که کاربرد اسید هیومیک، میکوریزا و جلبک

دریایی در مقادیر مختلف دارای اثر مثبت بر افزایش

کمی و بهبود علوفه یونجه بود. براساس این تحقیق

نتیجه‌گیری کلی

رسیدن به عملکرد و کیفیت بالاتر در یونجه نیازمند

تغذیه مناسب گیاه می‌باشد. در این مطالعه مشخص

- 7) Ali, O., Ramsubhag, A. and J, Jayaraman. 2021a. Phytoelicitor activity of *Sargassum vulgare* and *Acanthoporphyrus* extracts and their prospects for use in vegetable crops for sustainable crop production. *Journal of Applied Phycology*, 33(1): 639–651.
- 8) Ali, O., Ramsubhag, A. and J, Jayaraman. 2021b. Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. *Plants (Basel)* 10(3): 531. doi: 10.3390/plants10030531. PMID: 33808954; PMCID: PMC8000310
- 9) Ampong, K., Thilakarathna, M.S. and L.Y, Gorim. 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4: 848621.
- 10) An, Y., Zhou, P., Xiao, Q. and D, Shi. 2014. Effects of foliar application of organic acids on alleviation of aluminum toxicity in alfalfa. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177: 421-430.
- 11) Aylaj, M., Sisouane, M., Tahiri, S., Mouchrif, Y. and M, El Krati. 2023. Effects of humic acid extracted from organic waste composts on Turnip culture (*Brassica rapa* subsp. *rapa*) in a sandy soil. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7): 345-359.
- 12) Bhattarai, S., Liu, N., Karunakaran, C., Tanino, K.K., Fu, Y.B. and B, Coulman. 2021. Tissue specific changes in elements and organic compounds of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars differing in salt tolerance under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 264: 153485. doi: 10.1016/j.jplph.2021.153485.
- 13) Blažková, A., Jansa, J., Püschel, D., Vosátka, M. and M, Janouskova. 2021. Is mycorrhiza functioning influenced by the quantitative composition of the mycorrhizal fungal community? *Soil Biology and Biochemistry*, 157: 108249. doi: 10.1016/j.soilbio.2021.108249.
- 14) Divya, K., Roja, M.N. and S.B, Padal. 2015. Effect of seaweed liquid fertilizer of *Sargassum wightii* on germination, growth and productivity of brinjal. *International*

بالاترین مقادیر برای علوفه تر و خشک و عناصر غذایی موجود در علوفه و سایر صفات رشدی در اثر کاربرد ۲۰ گرم در متر مربع قارچ میکوریزا، ۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک و ۱/۵ کیلوگرم در هکتار جلبک دریایی حاصل شد که برای کشاورزان قابل توصیه می باشد.

منابع

- ۱) امارلو، م.، حشمتی رفسنجانی، م. و م، حمیدپور. ۱۴۰۲. تأثیر اسید هیومیک همراه با آب آبیاری بر کارایی کودهای شیمیایی فسفر و آهن و غلظت برخی عناصر غذایی معدنی گیاه ذرت. نشریه آب و خاک، ۳۷(۶): ۸۹۱-۹۰۶.
- ۲) معینی زاده، م.، پیری، ع.، توسلی، ا. و س، شجاعی. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد کمی و کیفی علوفه ارقام در چینهای مختلف در منطقه خاش. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۳(۲): ۱۲۷-۱۴۰.
- 3) Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J. and D, Mark Hodges. 2014. Ascophyllum extract application can promote plant growth and root yield in carrot associated with increased root-zone soil microbial activity. *Canadian Journal of Plant Science*, 94: 337–348.
- 4) Albayrak, S. and N, Camas. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Journal of Agronomy*, 42: 130-133.
- 5) Ali, N., Farrell, A., Ramsubhag, A. and J, Jayaraman. 2016. The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. *Journal of Applied Phycology*, 28: 1353–1362.
- 6) Ali, O., Ramsubhag, A. and J, Jayaraman. 2019. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PLoS One*, 14(5): e0216710.

- 22) Kocira, A., Świeca, M., Kocira, S., Złotek, U. and A. Jakubczyk. 2018. Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(3): 563-571.
- 23) Kumar, G., Nanda, S., Singh, S.K., Kumar, S., Singh, D., Singh, B.N. and A. Mukherjee. 2024. Seaweed extracts: enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. *Frontiers in Mar Science*, 11:1457500. doi: 10.3389/fmars.2024.1457500.
- 24) Langer, H., Cea, M., Curaqueo, G. and F. Borie. 2009. Influence of Aluminum on the Growth and Organic Acid Exudation in Alfalfa Cultivars Grown in Nutrient Solution. *Journal of Plant Nutrition*, 32: 618 - 628.
- 25) Larson, L.S. and H.F. Mayland. 2017. Comparative mapping of fiber, protein, and mineral content QTLs in two interspecific *Leymus wildrye* full-sib families. *Molecular Breeding*, 20: 331-347.
- 26) Li, H., Zhang, L., Wu, B., Li, Y., Wang, H. and H. Teng. 2023. Physiological and proteomic analyses reveal the important role of arbuscular mycorrhizal fungi on enhancing photosynthesis in wheat under cadmium stress. *Ecotoxicology Environment Safety*, 261, 115105. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115105.
- 27) Liu, M.-Y., Li, Q.-S., Ding, W.-Y., Dong, L.-W., Deng, M. and J. Chen. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation impacts expression of aquaporins and salt overly sensitive genes and enhances tolerance of salt stress in tomato. *Chemistry and Biology Technology in Agriculture*, 10: 5. doi: 10.1186/s40538-022-00368-2.
- 28) Lv, J., Zhang, X., Sha, Z., Li, S., Chen, X., Chen, Y. and X. Liu. 2024. Mitigation of reactive nitrogen loss from arable soils through microbial inoculant application: A meta-analysis. *Soil Tillage Research*, 235: 105883.
- 29) Ma, Y., Cheng, X. and Y. Zhang. 2024. The Impact of Humic Acid Fertilizers on Crop Yield and Nitrogen Use Efficiency: A *Journal of Advanced Research and Science Engineering Technology*, 2: 868-871.
- 15) El Bouchtaoui, F.-Z., Ablouh, E.-H., Mhada, M., Kassem, I., Gracia, D.R. and M. El Achaby. 2024. Humic Acid-Functionalized Lignin-Based Coatings Regulate Nutrient Release and Promote Wheat Productivity and Grain Quality. *ACS Applied Material Interfaces*, 16: 30355-30370.
- 16) Han, S., Cheng, Y., Wu, G., He, X. and G. Zhao. 2024. Enhancing salt tolerance in poplar seedlings through arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis. *Plants*, 13: 233. doi: 10.3390/plants13020233.
- 17) Huang, S., Gill, S., Ramzan, M., Ahmad, M. Z., Danish, S. and P. Huang. 2023. Uncovering the impact of AM fungi on wheat nutrient uptake, ion homeostasis, oxidative stress, and antioxidant defense under salinity stress. *Science Report*, 13: 8249. doi: 10.1038/s41598-023-35148-x.
- 18) Huda, M.N., Mannan, M.A., Bari, M.N., Rafiquzzaman, S.M. and H. Higuchi. 2023. Red seaweed liquid fertilizer increases growth, chlorophyll and yield of mungbean (*Vigna radiata*). *Agronomy Research*, 21(S1): 291-305.
- 19) Jafari, A 2003. Near by ryegrass perennial in quality of estimation on note and Agricultural of Journal Irish .spectroscopy infrared. *Research Food Research*, 42: 293-299.
- 20) Jing, J., Zhang, S., Yuan, L., Li, Y., Lin, Z., Xiong, Q. and B. Zhao. 2020. Combining humic acid with phosphate fertilizer affects humic acid structure and its stimulating efficacy on the growth and nutrient uptake of maize seedlings. *Scientific Reports*, 10(1): 17502. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74349-6>.
- 21) Karthick, N., Selvakumar, S. and S. Umamaheswari. 2023. Effect of three different seaweed liquid fertilizers and a chemical liquid fertilizer on the growth and histopathological parameters of *Eudriluseugeniae* (Haplotaenidae: Eudrilidae). *Global Journal of Bioscience and Biotechnology*, 2: 253-259.

- 38) Szajdak, L., Życzyńska-Bałoniak, I., Meysner, T. and A, Blecharczyk. 2004. Bound amino acids in humic acids from arable cropping systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 562-567.
- 39) Wang, F., Zhang, L., Zhou, J., Rengel, Z., George, T.S. and G, Feng. 2022. Exploring the secrets of hyphosphere of arbuscular mycorrhizal fungi: processes and ecological functions. *Plant and Soil*, 481: 1–22.
- 40) Xu, W., Liu, Q., Wang, B., Zhang, N., Qiu, R., Yuan, Y., Yang, M., Wang, F., Mei, L. and G, Cui. 2024. Arbuscular mycorrhizal fungi communities and promoting the growth of alfalfa in saline ecosystems of northern China. *Frontiers in Plant Science*, 15: 1438771. doi: 10.3389/fpls.2024.1438771.
- 41) Yuan, Y., Gai, S., Tang, C., Jin, Y., Cheng, K., Antonietti, M. and F, Yang. 2022. Artificial humic acid improves maize growth and soil phosphorus utilization efficiency. *Applied Soil Ecology*, 179: 104587.
- 42) Zhang, C., Xiang, X., Yang, T., Liu, X., Ma, Y. and K, Zhang. 2024. Nitrogen fertilization reduces plant diversity by changing the diversity and stability of arbuscular mycorrhizal fungal community in a temperate steppe community. *Science Total Environment*, 918: 170775. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.170775.
- Meta-Analysis. *Agronomy*, 14: 2763. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122763>
- 30) Marro, N., Grilli, G., Soteras, F., Caccia, M., Longo, S. and N, Cofré. 2022. The effects of arbuscular mycorrhizal fungal species and taxonomic groups on stressed and unstressed plants: a global meta-analysis. *New Phytology* 235: 320–332.
- 31) Mukherjee, A. and J.S, Patel. 2020. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1): 553–558.
- 32) Nadian, H. and Z, Tahmasebi-Sarvestani. 2013. Application of arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract improve drought stress tolerance in potted grapevine. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15: 161-174.
- 33) Oktem, A.G. and A, Oktem. 2020. Effect of Humic acid application methods on yield and some yield characteristics of corn plant (*Zea mays* L. indentata). *Journal of Applied Life Sciences International*, 23(11): 31-37.
- 34) Olk, D.C.; Dinnes, D.L.; Scoresby, J.R.; Callaway, C.R. and J.W, Darlington. 2018. Humic products in agriculture: Potential benefits and research challenges—A review. *Journal of Soils Sediments*, 18: 2881–2891.
- 35) Palkar, K.P.; Meshram, N.A. and M.C, Kasture. 2022. Effect of crop residue and fertilizers on humus fractions and rice (*Oryza sativa*) yield. *Indian Journal of Agriculture Science*, 92: 249–253.
- 36) Patel, K., Agarwal, P., and P.K, Agarwal. 2018. Kappaphycus alvarezii sap mitigates abiotic-induced stress in triticum durum by modulating metabolic coordination and improves growth and yield. *Journal of Applied Phycology*, 30: 2659–2673.
- 37) Qin, W., Yan, H., Zou, B., Guo, R., Ci, D. and Z, Tang. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate salinity stress in peanut: Evidence from pot-grown and field experiments. *Food Energy and Security*, 10: e314. doi: 10.1002/fes3.314.