تأثیر هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر صفات بیوشیمیایی و وزن دانه ماش سبز (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

نادیا عظیم‌بکلو [۱] | سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی ✉ [۲] | علی حیدرزاده [۳]

۱. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: n.azimbakloo@modares.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: modaresa@modares.ac.ir
۳. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و خاک‌پاش هیومیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی بر ماش سبز، آزمایشی گلدانی در گلخانه‌ای با دریچه‌های باز در ارومیه (آذربایجان غربی) به‌صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. عوامل شامل سه رژیم آبیاری (مطلوب، تنش ملایم، تنش شدید)، محلول‌پاشی اسید آمینه تجاری (آمینوریچ) در شش سطح (عدم محلول‌پاشی، آب مقطر، ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم در لیتر) و هیومیک اسید در دو سطح (۰/۱ گرم در گلدان و عدم کاربرد) بودند. بیشترین ارتفاع بوته (۲۶/۶ سانتی‌متر) از تیمار هیومیک اسید همراه با ۳ گرم اسید آمینه در آبیاری مطلوب حاصل شد که نسبت به شاهد ۴۷٪ افزایش داشت. بیشترین سطح برگ در بوته (۵۱/۷ سانتی‌مترمربع) در تیمار ۲ گرم اسید آمینه با هیومیک اسید و کمترین مقدار (۱۷/۱ سانتی‌مترمربع) در آب مقطر تحت تنش شدید ثبت شد. غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین در برگ‌ها با کاربرد اسید آمینه و هیومیک افزایش یافت. بیشترین تعداد دانه (۲۶/۲ عدد در بوته) از تیمار هیومیک اسید در آبیاری مطلوب حاصل شد (۴۰٪ بیشتر از شاهد). وزن دانه نیز با تیمار ۲ گرم اسید آمینه و هیومیک اسید در شرایط مطلوب به ۱۸۸۳ میلی‌گرم در بوته رسید. این ترکیب بهترین تیمار برای کاهش اثرات کم‌آبی بر ماش سبز بود.

کلید واژه‌ها: ارتفاع بوته؛ تعداد دانه در بوته؛ حبوبات؛ سطح برگ؛ تنش خشکی.

غیر قابل استناد

Effects of Humic Acid and Amino Acid Foliar Application on Biochemical Traits, and Grain Weight of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) under Water Deficit Stress Conditions

Nadia Azimbakloo [1] | Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy [2] ✉ | Ali Heidarzadeh [3]

1. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: n.azimbakloo@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: modaresa@modares.ac.ir
3. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir

Introduction

Legumes, as a source of plant protein, are considered as one of the most valuable agricultural products, playing a significant role in meeting the food needs of developing countries. Green mung beans, being small grain legumes with a high protein content (22-25%), amino acids, minerals, and vitamins, are particularly valued. However, water scarcity stress, one of the most important factors limiting crop production, has hindered the cultivation of this crop in Iran. Drought stress leads to physiological, biochemical, metabolic disorders, and oxidative stress in plants, making it one of the most crucial non-living stresses. Various methods are employed to mitigate the adverse effects of drought stress and enhance plant tolerance, including the use of organic compounds such as amino acids and humic acid. These compounds can stimulate plant growth and development under optimal conditions and stress. Amino acids play direct and indirect roles in physiological metabolism, exchange, and structural activities, such as increasing the concentration of photosynthetic pigments, enhancing the rate of photosynthesis, and promoting protein synthesis under stress conditions. Humic acid, with its polymeric structure, enhances cell membrane permeability, stimulates root growth, and improves water and nutrient absorption by roots. Consequently, it increases the relative water content of leaves under stress conditions, mitigating the adverse effects of stress. Considering the importance of legumes in the diet and the challenges of water scarcity in arid and semi-arid regions of the country, this research aimed to study the effects of humic acid and amino acid foliar application on the yield and yield components of mung bean plants under water stress conditions.

Materials and Methods

To investigate the effects of humic acid and various levels of amino acid on mung bean yield and yield components under water stress conditions, a factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in a greenhouse with open vents. The experiment took place in Urmia city, West Azerbaijan province, during the 1401 growing season. The experimental factors included three irrigation regimes (optimal irrigation, mild stress, and severe stress), six levels of commercial amino acid foliar application (1- no foliar spraying, 2 - foliar spraying with distilled water, 3-1 gram, 4-2 grams, 5-3 grams, and 6-4 grams of amino acids per liter of water), and two levels of humic acid application (1- application of 0.1 gram of humic acid and 2- no application of humic acid). Statistical analysis was performed using SAS 9.4, and mean comparisons were based on the LSD method at a 5% probability level.

Results and Discussion

The results revealed that the highest plant height (26.58 cm) was obtained from the application of humic acid with three grams of amino acids under optimal irrigation conditions. Additionally, the highest leaf area (51.7 cm^2) was observed with the application of two grams of amino acids and humic acid under optimal irrigation conditions. The highest number of seeds per plant (26.2) was obtained from the application of humic acid under optimal irrigation conditions, leading to the highest grain weight (1883.3 mg $plant^{-1}$) with foliar spraying of two grams of amino acids under optimal conditions. The highest concentrations of photosynthetic pigments and anthocyanin were recorded in the leaves of mung bean with amino and humic acid treatments. Foliar application of amino acids significantly improved 1000-seed weight, number of seeds per plant, harvest index, and shoot dry weight compared to the control. Generally, morphological and yield components were negatively affected under severe stress conditions. However, the application of amino acids and humic acid appeared to enhance the adaptability of green mung beans to drought stress conditions.

Conclusions

The study concluded that drought stress negatively impacts morphological traits (plant height, leaf area, and dry weight of aerial organs) and yield components (grain weight, 1000-seed weight, number of seeds per plant, and harvest index). However, foliar application of amino acids and soil application of humic acid effectively mitigated these negative effects on mung bean traits. The highest plant height, leaf area, shoot dry weight, and grain weight were achieved with the simultaneous application of amino acids and humic acid. Therefore, based on the research findings, drought stress had negative effects on yield and morphological, therefore traits foliar application of three grams of amino acids along with soil application of humic acid is recommended to improve the vegetative and yield traits of mung bean plants.

Keywords: Mung Beans; Drought stress; Leaf area; Number of seeds per plant; Plant height.

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت، تقاضا برای محصولات کشاورزی جهت مقابله با چالش‌های امنیت غذایی در حال افزایش است (Kumari *et al*., 2022). حبوبات به عنوان منبع پروتئین گیاهی از باارزش‌ترین محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند و در تأمین نیاز غذایی کشورهای در حال توسعه نقش بسزایی دارند (Asadi *et al*., 2022). ماش سبز (*Vigna radiata* L.) یکی از مهم‌ترین لگوم‌های دانه‌ریز است که به علت بالا بودن درصد پروتئین (۲۲ تا ۲۵ درصد)، وجود اسیدهای آمینه، مواد معدنی و ویتامین‌ها، از حبوبات باارزش به شمار می‌رود (Tantasawat *et al*., 2010; Sehrawat *et al*., 2013). با این حال، تنش کم‌آبی به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات زراعی، کشت این محصول را در ایران با مشکل روبرو کرده است (Khalili *et al*., 2020).

تنش خشکی موجب تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، اختلالات متابولیک و بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود و از این رو یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده به شمار می‌رود (Kalantarahmadi & Dezfouli, 2021). این نوع تنش از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش قابلیت هدایت روزنه‌ای، کاهش آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم و کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل، باعث افت فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Keshavarz *et al*., 2014).

اهمیت حبوبات در رژیم غذایی و نقش ویژه گیاه ماش سبز به‌واسطه درصد بالای پروتئین، در مطالعات مختلف مورد تأکید قرار گرفته است. با این حال، مشکل کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به دلیل کاهش بارندگی و محدود بودن منابع آبی، تولید این محصول را با چالش روبه‌رو کرده است. یافتن راهکارهایی برای کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب در تولید ماش سبز، ضرورت دارد. با وجود انجام مطالعاتی در زمینه اثرات جداگانه آمینواسیدها و اسید هیومیک بر گیاهان زراعی، اطلاعات موجود درباره اثرات توأم این ترکیبات تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، به‌ویژه در گیاه ماش سبز، محدود و ناکافی است (Kumari *et al*., 2022; Salehi *et al*., 2021). ازاین‌رو، بررسی هم‌زمان تأثیر آمینواسید و اسید هیومیک در شرایط سطوح مختلف آبیاری، می‌تواند به درک بهتر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و عملکردی ماش سبز تحت تنش کم‌آبی کمک کرده و راهکارهای عملی مناسبی برای افزایش بهره‌وری آب و پایداری تولید این محصول ارائه دهد (Khalili & Hamze, 2019; Wang *et al*., 2019).

پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی اثر منفی قابل توجهی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه ماش سبز دارد. در یک مطالعه اخیر Mahajan و همکاران (۲۰۲۳)، مشخص شد که تنش آبی (به‌ویژه در مراحل تولید مثل) باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ماش سبز می شود. تحت شرایط کم‌آبی، عملکرد دانه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت و این کاهش با شدت تنش و مرحله رشدی رابطه مستقیم داشت. به عنوان نمونه، Panda و همکاران (۲۰۱۳) و Khan و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کم‌آبی موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن اندام هوایی ماش سبز می شود. تنش آبی باعث کاهش قابل توجهی در رشد، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ماش سبز می‌شود و این اثرات منفی در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر می‌شوند. حساسیت گیاه به تنش آبی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه بیشتر است (Lian *et al*., 2023). همچنین Bhadoria و همکاران (۲۰۲۰) کاهش عملکرد دانه و Khanna و همکاران (۲۰۱۸) کاهش تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته و وزن هزار دانه را در گیاه ماش سبز تحت تأثیر تنش کم‌آبی گزارش کردند. از جمله روش‌های مؤثر و کم‌هزینه برای بهبود بازدهی مصرف آب و کاهش اثرات تنش خشکی، کاربرد ترکیبات آلی به‌ویژه اسیدهای آمینه و هیومیک اسید است (Alshaal & El-Ramady, 2017; Doroodian *et al*., 2016). تنش آبی موجب کاهش زیست‌توده در زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi*) (Heidarzadeh *et al*., 2022)، پروتئین علوفه در شبدر ایرانی (Moradi-Ghahderijani *et al*., 2024)، عملکرد روغن، میزان فتوسنتز و عملکرد دانه در کلزا (Fayaz *et al*., 2025; 2024a; 2024b)، کارایی کوانتومی فتوسیستم II در گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) (Naghavi *et al*., 2024) و عملکرد دانه در کامل‌ینا (Abedi *et al*., 2025; Momeni-Shirjani *et al*., 2024) می‌شود. افزون بر این، تنش آبی موجب افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب و الیاف شوینده خنثی در زرین گیاه شده است (Heidarzadeh *et al*., 2021a).

ا سیدهای آمینه از طریق تأثیر مثبت بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، موجب بهبود ر شد، عملکرد، جذب عنا صر غذایی و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزنده می شوند (Rouphael & Colla, 2018). پژوهش‌ها ن شان داده‌اند که غلظت ا سیدهای آمینه مختلف در شرایط تنش محیطی افزایش می‌یابد که بیانگر نقش مستقیم یا غیرمستقیم آنها در افزایش مقاومت گیاه است (Kumar *et al*., 2018). اثر مثبت محلول‌پاشی ا سیدهای آمینه در شرایط تنش خ شکی و نیز شرایط بدون تنش بر صفات ر شد و عملکرد در گیاهان مختلفی از جمله نخود (Khalesi *et al*., 2023)، لوبیا چ شم بلبلی (Wang *et al*., 2019)، بادام‌زمینی (Sadak *et al*., 2023) گزارش شده ا ست. محلول‌پا شی ا سیدهای آمینه با افزایش راندمان انرژی در گیاه و همچنین افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه کمک به گیاه سیر (*Allium Sativum* L.) سبب افزایش عملکرد می شود (Heidarzadeh & Modarres-Sanavy, 2023). همچنین، در پژوهشی نشان داده شد کاربرد آ سپارتیک ا سید به صورت بذرمال و محلول‌پا شی عملکرد عدس (*Lens culinaris* Medik.) را افزایش داد (Heidarzadeh *et al*., 2021b; Heidarzadeh & Modarres-Sanavy, 2021).

در مورد هیومیک اسید نیز مطالعات مختلفی انجام شده است. این ترکیب با داشتن ساختار پلیمری، نفوذپذیری غشای سلولی و رشد ریشه را افزایش داده و از این طریق جذب آب و مواد غذایی را بهبود می‌بخشـــد و اثرات ســـوء تنش را تعدیل می‌کند (Mikkelsen, 2005). مطالعه Abeer و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که استفاده از هیومیک اسید می‌تواند موجب افزایش ارتفاع و زیست‌توده ماش سبز در شرایط کم‌آبی شود. همچنین Kaya و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کاربرد هیومیک اســـید باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا شـــد. در پژوهش Ahmed و Fakkar (۲۰۲۰) نیز اثر مثبت هیومیک ا سید بر افزایش ارتفاع، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه باقلا م شاهده شد. Khan و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش تعداد غلاف، تعداد دانه و وزن تر غلاف نخود را در نتیجه مصرف هیومیک اسید گزارش کردند.

بر اســاس نتایج مطالعات پیشــین و اهمیت راهکارهای تغذیه‌ای در افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی، تحقیق حاضــر با هدف بررســی تأثیر هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ماش سبز در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد.

با وجود مطالعات گســترده در زمینه تنش آبی، آزمایش‌های گلدانی به دلیل شــرایط کنترل‌شــده، امکان بررســی دقیق مکانیســم‌های فیزیولوژیکی و تأثیر همزمان تیمارهای زیستی مانند آمینواسید و اسید هیومیک را فراهم می‌کنند (Kumar *et al.,* 2018; Khan *et al.,* 2012).

این مطالعه با هدف رفع خلأ موجود درباره اثرات توأم این تیمارها در سطوح مختلف آبیاری بر گیاه ماش سبز انجام شده ا ست، چرا که اطلاعات کافی در این زمینه محدود ا ست (Kumari *et al*., 2022; Salehi *et al.,* 2021). نتایج می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات میدانی گسترده‌تر و کاربردی‌تر باشد.

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش بصورت گلدانی (به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۹ سانتی‌متر بستر خاک لوم–رسی، تعداد ۳ بوته در هر گلدان) در گلخانه با دریچه‌های باز در مزرعه روستای بوراشان واقع در شهرستان ارومیه استان آذربایجان غربی در سال زراعی ۱۴۰۱ انجام شد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۰۴ متر، طول و عرض جغرافیایی آن به ترتیب "۴۵°۸'۴۵/۶ طول شرقی و "۳۷°۳۴'۲۷/۴ عرض شمالی بود. اطلاعات آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱– میانگین بارندگی، دمای بیشینه و کمینه در طول فصل رشد

ماه	تیر	مرداد	شهریور	مهر
میانگین بارندگی (میلی‌متر)	4	0	0	0
دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	32.12	34	30	25
دمای کمینه (سانتی‌گراد)	15	16.15	13.19	9.66

این تحقیق بصورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل سه رژیم آبیاری آبیاری مطلوب: قطع آبیاری تا زمانی که ۲۰٪ آب قابل استفاده گیاه در منطقه ریشه جذب یا تبخیر شود و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه، تنش کم‌آبی ملایم: قطع آبیاری تا زمانی که ۵۰٪ آب قابل استفاده گیاه در منطقه ریشه جذب یا تبخیر شود و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه و تنش کم‌آبی شدید: قطع آبیاری تا زمانی که ۸۰٪ آب قابل استفاده گیاه در منطقه ریشه جذب یا تبخیر شود و سپس آبیاری تا حد ظرفیت

مزرعه) و محلول‌پاشی با اسید آمینه تجاری در شش غلظت (عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با آب مقطر و یک، دو، سه و چهار گرم اسید آمینه در یک لیتر آب) و کاربرد خاکی هیومیک اسید (هیومیک اسید ۷۵٪ هیوفارم) در دو سطح (کاربرد ۰/۱ گرم در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب در گلدان هیومیک اسید و عدم استفاده از هیومیک اسید) بود. به این ترتیب این آزمایش شامل ۳۶ تیمار و ۱۰۸ واحد آزمایشی (گلدان با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۳۵ سانتی‌متر) بود. اسید آمینه تجاری مورد استفاده آمینوریچ نام داشت و ترکیبات آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ترکیبات موجود در اسید آمینه تجاری مورد استفاده

اسیدآمینه کل	اسیدآمینه آزاد	آهن	روی	منگنز	مس
٪۲۲	٪۱۷	٪۵	٪۳	٪۲	٪۰/۶

رژیم‌های مختلف آبیاری بعد از جوانه‌زنی و استقرار کامل گیاهچه (چهار برگی) در گلدان اعمال شد. برای اندازه‌گیری رطوبت موجود در محیط ریشه از حسگرهای رطوبت سنج TDR مدل PR2 از شرکت Delta-T Device استفاده شد. میزان آب مصرفی در آبیاری مطلوب، تنش کم‌آبی متوسط و شدید به ترتیب ۴۳/۵، ۳۴/۵ و ۲۸/۵ لیتر در طول دوره در هر گلدان بود. در این پژوهش محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر اندام‌های هوایی در دو مرحله: ۱۰ روز قبل از شروع گلدهی و ۱۰ روز بعد از شروع گلدهی و همچنین زمان اختلاط هیومیک اسید با خاک گلدان: ۱۰ روز قبل از شروع گلدهی انجام شد. بذر مورد استفاده در این تحقیق رقم زربخش بود که از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. نیاز کودی گیاه در طی اجرای تحقیق با توجه به خصوصیات شیمیایی خاک گلدان (جدول ۳) تأمین شد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان

اسیدیته	کربن آلی (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	بافت
7.90	2.37	40	22	38	رسی–لومی
فسفر (میلی‌گرم/کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم/کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم/کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم/کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم/کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)
22.84	926	13.36	15.35	1.188	0.29

اندازه‌گیری صفات

سطح برگ یک هفته بعد از آخرین تیمار با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدلDELTA-T DEVICES ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. قبل از رسیدگی فیزیولوژیک، صفات وزن خشک اندام هوایی و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، صفات ارتفاع، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام با کف بر کردن بوته‌های گلدان اندازه‌گیری شدند. وزن دانه و عملکرد بیولوژیک در زمان رسیدگی کامل با کف‌بر کردن بوته‌ها اندازه‌گیری شدند و از تقسیم وزن دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به دست آمد. به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه تعداد بذرهای بدست آمده توزین و با تناسب تعداد بذر و وزن آن‌ها و ضرب در ۱۰۰۰، وزن هزار دانه محاسبه شد.

آنتوسیانین طبق روش Krizek و همکاران (۱۹۹۳) اندازه‌گیری شد. طبق این روش، مقدار ۰/۲ گرم برگ در ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی) شامل متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به طور کامل ساییده شد، سپس عصاره حاصل سانتریفیوژ گردید و محلول روئی به مدت یک ساعت در تاریکی قرار گرفت. میزان جذب در طول موج ۵۵۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b، کل و کارتنوئید به روش Israelstam و Hiscox (۱۹۷۹)، انجام گرفت. بدین منظور مقدار ۰/۵ گرم از ماده‌تر گیاهی را در ۱۰ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکساید (DMSO) و به مدت نیم ساعت درون حمام بن ماری ۷۰ درجه سانتی‌گراد استخراج نموده به طوری که نمونه‌های برگی به صورت بی‌رنگ درآیند مقداری از نمونه استخراج شده را را در کووت اسپکتروفوتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ توسط اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) مقدار جذب را قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول زیر میزان کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ (mg g^{-1}FW) به دست آمد (Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

Chlorophyll a =(19.3×A663-0.86×A645) V/100W
Chlorophyll b =(19.3×A645-3.6×A663) V/100W

Total Chlorophyll = Chlorophyll a + Chlorophyll b
Carotenoides=100(A470)-3.27(mg chl. a)-104(mg chl. b)/227

V= حجم محلول مورد استفاده، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، W= وزن تر نمونه بر حسب گرم، (mg chl. a) و (mg chl. b)= مقادیر کلروفیل a و b به ترتیب هستند.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل شدند. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمالیتی شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) انجام گرفته و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی تعمیم یافته (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

یافته‌های پژوهش و بحث

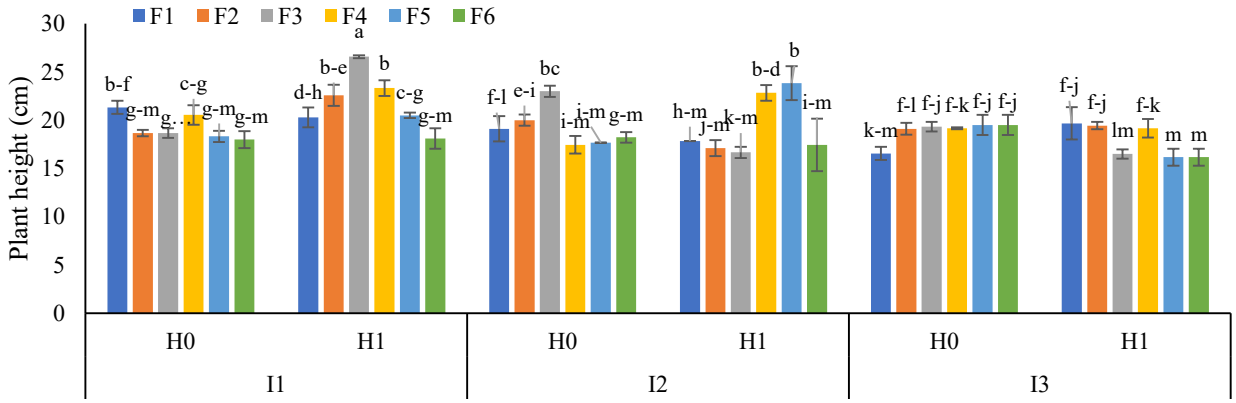
ارتفاع بوته

جدول تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش سه گانه رژیم آبیاری، هیومیک اسید و اسید آمینه تأثیر معنی‌داری روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار کاربرد هیومیک اسید با سه گرم اسید آمینه در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین ارتفاع را با ۲۶/۵۸ سانتی‌متر داشت (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش از آبیاری مطلوب به تنش کم‌آبی متوسط و شدید، به ترتیب ۶/۳۹ و ۱۰/۸۰ در صد از ارتفاع بوته کاهش یافت. علاوه بر آن، کاربرد سه و چهار گرم ا سیدهای آمینه در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب باعث افزایش ۱۲/۳۹ و ۱۴/۰۲ در صدی ارتفاع شد. (شکل ۱). کاهش ارتفاع بوته ماش سبز در اثر تنش خ شکی گزارش شده ا ست (Salehi *et al.,* 2021). محققان این کاهش را در اثر تأثیر منفی تنش خشـــکی بر روابط آبی گیاه می‌دانند که در نهایت موجب کاهش طول و تقسیمی سلولی می شود و نتیجه این امر کاهش ارتفاع بوته می‌با شد (Harp *et al*., 2000). گزارش شده ا ست که کاربرد هیومیک ا سید روی ارتفاع بوته گیاه ماش سبز اثر معنی‌داری داشت و باعث افزایش ارتفاع آن شد (Abeer *et al*., 2020). این صفت همبستگی مثبتی با صفات وزن خشک اندام هوایی (**۰/۶۲= r)، زیست توده (**۰/۶۰= r)، سطح برگ (**۰/۵۷= r)، تعداد دانه در بوته (**۰/۶۷= r)، وزن هزار دانه (*۰/۳۸= r) و وزن دانه (**۰/۶۷= r) داشت (جدول ۷).

جدول ۴- میانگین مربعات صفات مورفولوژیک ماش سبز تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه

منابع تغیرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک غلاف	وزن خشک کل
بلوک	2	3.92 ns	23.4ns	9554 ns	5382.7 ns	26196.9 ns	117105.9 ns
(I) آبیاری	2	44.96**	1370**	583659.6**	544431**	86246.8**	15993143**
(H) هیومیک اسید	1	8.46 ns	192.5**	47586.1*	45219*	129701.9**	55910.4 ns
(F) اسید امینه	5	13.93**	152.2**	39093.3**	68066**	91605.2**	1329503.9**
I×F	8	31.8**	332.4**	51730.2**	9499 ns	28771.7v	323697.6 ns
I×H	2	6.6*	97.2**	9547.7 ns	7126.7 ns	10981.6 ns	146815.8 ns
H×F	10	9.48**	52.9**	45895**	6220.8 ns	50196**	184365.4 ns
H×I×F	5	25.42**	49.9**	13304.9 ns	17534.3 ns	13263.3 ns	178574.9 ns
خطا	70	2.61	8.92	7056.6	10545.1	17518.9	145388.4
CV (٪)	-	8.32	11.06	23.63	20.92	24.74	15.60

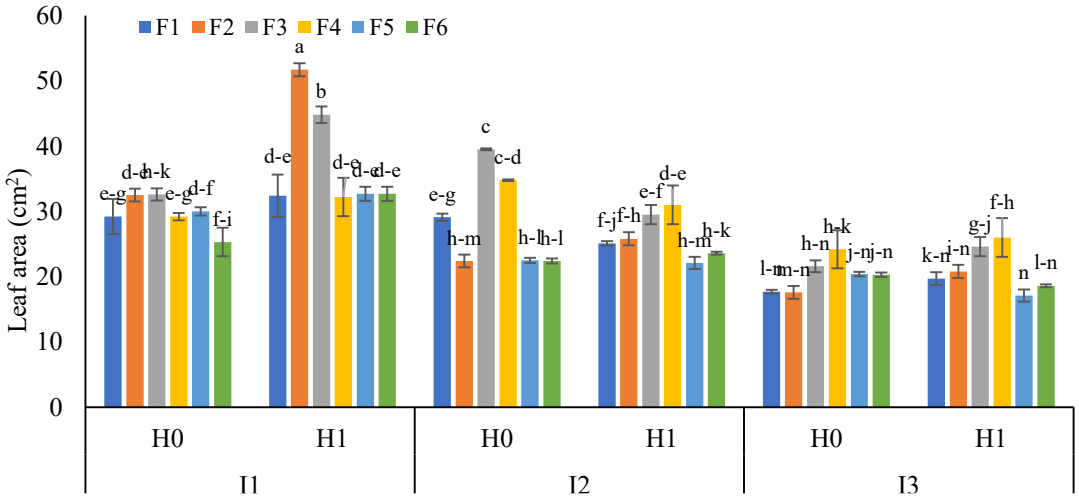
ns: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۵٪



شکل ۱- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر ارتفاع ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک در یک ستون، اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

سطح برگ بوته

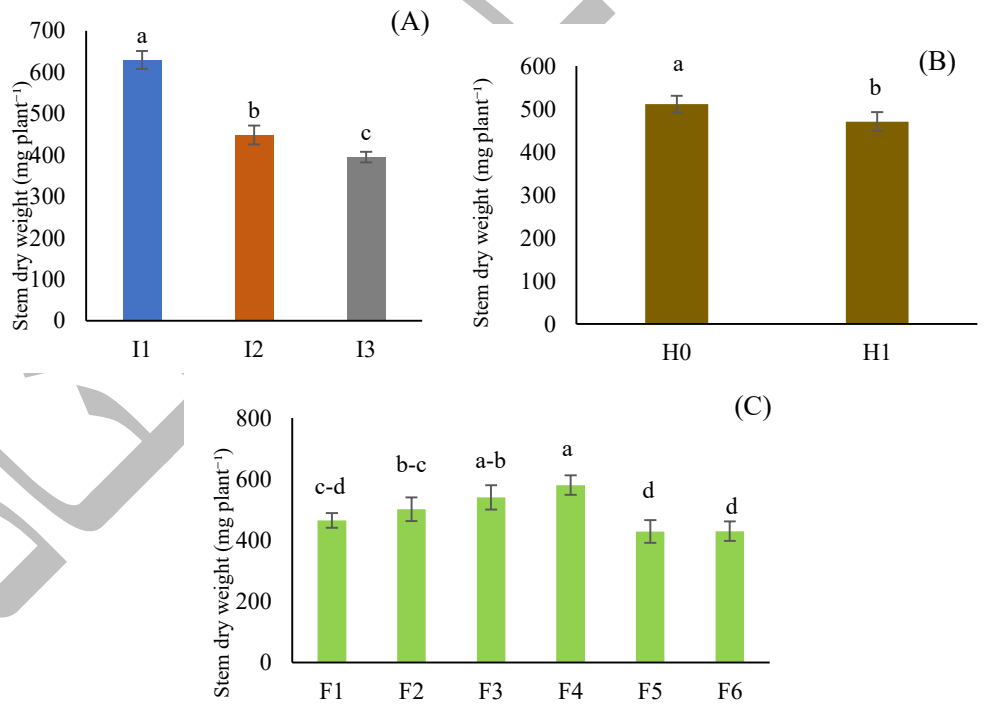
برهمکنش سه گانه رژیم آبیاری، هیومیک اسید و اسیدهای آمینه تأثیر معنی‌داری روی سطح برگ در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۴). بالاترین سطح برگ بوته با اعمال تیمار دو گرم اسیدهای آمینه و استفاده از هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب با ۵۱/۷ سانتی‌مترمربع حاصل شد (شکل ۲). مطالعات نشان داده است که تنش کم‌آبی می‌تواند به کاهش سطح برگ‌ها منجر شود و این تغییرات ممکن است به دلیل کاهش فعالیت سیستم گلوکزین‌ها و کاهش فتوسنتز در شرایط کم‌آبی باشد که منجر به کاهش رشد و سطح برگ‌ها می‌شود. اسیدهای آمینه به عنوان منبع تأمین نیتروژن، در تولید پروتئین گیاهی و سبزینه (کلروفیل) و درنتیجه افزایش سطح برگ و نورساخت گیاه مؤثرند (Ghazi Manas *et al.*, 2013). نتایج تحقیقی نشان داد که هیومیک اسید با تأثیر مستقیم برا افزایش رشد ریشه و جذب عناصر باعث افزایش سطح برگ گیاه نخود در شرایط کم‌آبی می شود (Ehtesham *et al.*, 2018). این صفت به علت تأثیر مستقیم بر تولید مواد فتوسنتزی گیاه، بیشترین همبستگی مثبت را با وزن خشک اندام هوایی (r =۰/۷۶**) و وزن دانه (r =۰/۷۳**) داشت (جدول ۷).



شکل ۲- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر سطح برگ بوته ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

وزن خشک اندام های هوایی (زیست توده)

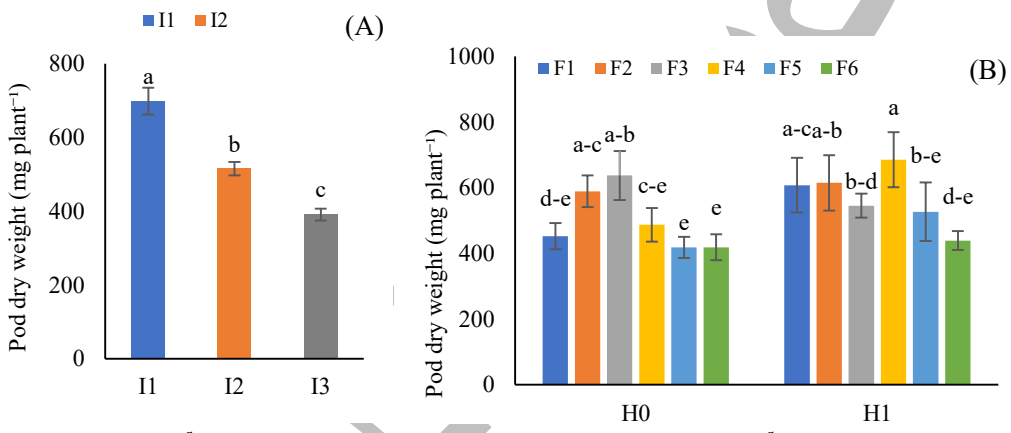
جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات رژیم های آبیاری و اسیدهای آمینه در سطح احتمال یک درصد و اثر هیومیک اسید در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه داشت (جدول ۴). برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و اثر رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک غلاف داشت. وزن خشک برگ تحت تأثیر برهمکنش دوگانه هیومیک اسید و اسیدهای آمینه (در سطح احتمال یک درصد) و برهمکنش رژیم آبیاری و هیومیک اسید (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفت. در رابطه با وزن خشک کل اندام هوایی اثر اصلی رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول۴). طبق نتایج مقایسه میانگین با افزایش شدت تنش کم‌آبی وزن خشک ساقه به طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در آبیاری مطلوب با ۶۲۹/۶ میلی‌گرم در بوته بدست آمد (شکل ۳). همچنین، عدم استفاده از هیومیک اسید وزن خشک ساقه بیشتری نسبت به استفاده از هیومیک اسید داشت (شکل ۳). بررسی سطوح مختلف اسیدهای آمینه نشان داد کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه و سه گرم اسیدهای آمینه نسبت به شاهد ۳۵/۱۴ و ۲۵/۷۶ درصد وزن خشک ساقه بیشتری تولید کرد و بیشتر از سایر سطوح محلول‌پاشی بودند (شکل ۳).



شکل ۳- اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری (A)، هیومیک اسید (B) و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (C) روی وزن خشک ساقه (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک ، اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F3: محلول‌پاشی با سه گرم

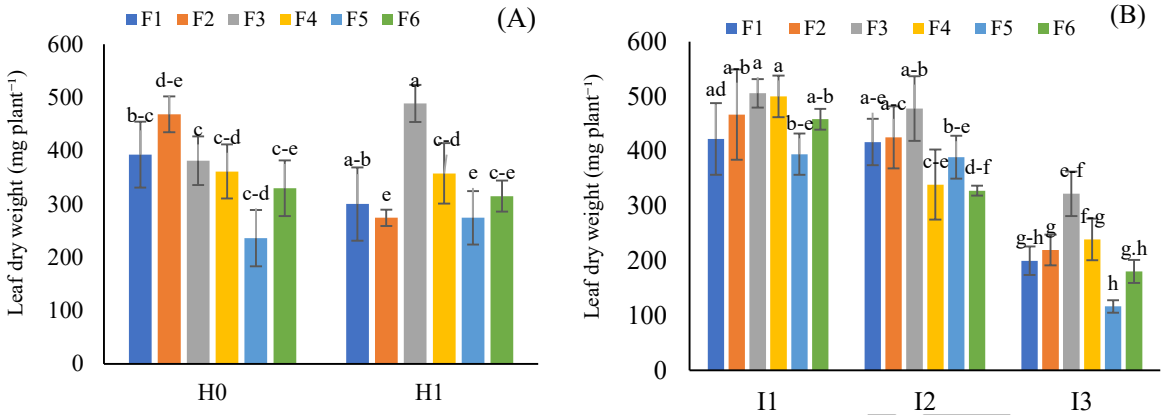
اسیدآمینه در لیتر آب، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر، F6: بدون محلول‌پاشی، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه نشان داد بیشترین وزن خشک غلاف بدون دانه در تیمار کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه با کاربرد هیومیک اسید با ۶۸۵/۲ میلی‌گرم در بوته تولید شد (شکل ۴) که با تیمارهای کاربرد یک گرم اسیدهای آمینه + هیومیک اسید (۶۰۷/۴ میلی‌گرم در بوته)، دو گرم اسیدهای آمینه + هیومیک اسید (۶۱۴/۸ میلی‌گرم در بوته)، دو گرم اسیدهای آمینه + بدون هیومیک اسید (۵۸۸/۹ میلی‌گرم در بوته) و سه گرم اسیدهای آمینه + بدون هیومیک اسید (۶۳۷/۰ میلی‌گرم در بوته) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). همچنین، در بررسی اثر اصلی رژیم‌های آبیاری مشاهده شد بیشترین وزن خشک غلاف بدون دانه در شرایط آبیاری مطلوب یا ۶۹۸/۶ میلی‌گرم در بوته بدست آمد (شکل ۴).



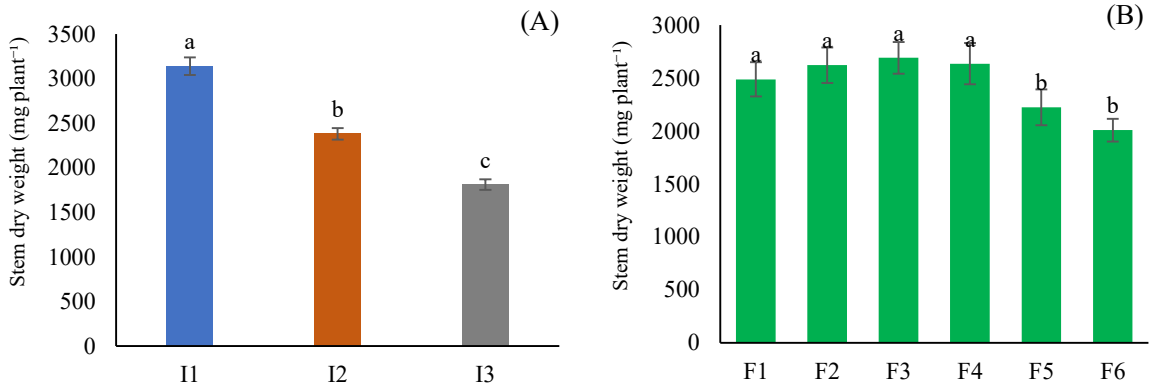
شکل ۴- اثر اصلی رژیم‌های آبیاری (A) و برهمکنش هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (B) روی وزن خشک غلاف (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

نتایج حاصله نشان داد که بیشترین وزن خشک برگ از کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه و کاربرد هیومیک اسید و همچنین استفاده از دو گرم اسیدهای آمینه و در صورت عدم استفاده از هیومیک اسید به ترتیب با ۴۸۸/۹ و ۴۶۸/۵ گرم در بوته تولید شد (شکل ۵). همچنین، برهمکنش رژیم‌های آبیاری و اسیدهای آمینه نشان داد که بیشترین وزن خشک برگ همه سطوح محلول‌پاشی به جز آب مقطر در شرایط آبیاری مطلوب بدست آمدکه با کاربرد یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم‌آبی متوسط در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵).



شکل ۵- برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه (الف) و برهمکنش رژیم‌های آبیاری واسیدهای آمینه روی وزن خشک برگ (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

اثر رژیم آبیاری نشان دادکه آبیاری مطلوب با ۳۱۳۹ میلی‌گرم در بوته نسبت به تنش کم‌آبی متوسط (۲۳۸۰ میلی‌گرم در بوته) و تنش کم‌آبی شدید (۱۸۱۰ میلی‌گرم در بوته) وزن خشک اندام هوایی بیشتری داشت (شکل ۶). همچنین، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه نسبت به محلول‌پاشی آب مقطر و عدم محلول‌پاشی (شاهد) وزن خشک کل بیشتری داشتند (شکل ۶).



شکل ۶- اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسیدهای آمینه بر روی وزن خشک کل اندام هوایی (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر، F6 : بدون محلول‌پاشی.

طبق گزارش محققان وزن خشک اندام هوایی گیاه ماش سبز در طول تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (Panda et al., 2013; Khan et al., 2017). به نظر می‌رسد علت کاهش خصوصیات رشدی در گیاه به این دلیل است که تنش کم‌آبی باعث کاهش صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ازجمله ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ می‌شود و در نهایت بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد نتایج پژوهشگران حاکی از بهبود صفات رویشی وزن خشک اندام هوایی گیاهان ماش، لوبیا و نخود در اثر کاربرد هیومیک و اسیدهای آمینه می‌باشد (Abeer et al., 2020; Kaya et al., 2014; Khalesi et al., 2023) افزایش صفات رشدی گیاه در نتیجه استفاده از محرک‌های رشد نظیر اسیدهای آمینه و هیومیک اسید را می‌توان به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، جذب مواد مغذی معدنی و تنظیم متابولیسم نیتروژن نسبت داد (EL-Aal, 2018; Neisi et al., 2023).

این صفات همبستگی مثبتی با صفات ارتفاع و عملکردی گیاه ماش داشتند که به دلیل نقش مستقیم زیست توده در ذخیره و انتقال مجدد ترکیبات به قسمت‌های زایشی گیاه این همبستگی مورد انتظار بود (جدول ۷).

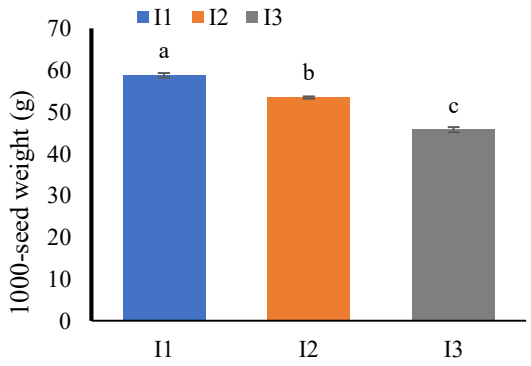
وزن هزار دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده ها بیانگر تأثیرپذیری صفت وزن هزاردانه از تیمار رژیم های آبیاری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد (جدول ۵). بر این اساس وزن هزاردانه با اعمال تنش کم‌آبی روند کاهشی داشت به نحوی که بالاترین وزن هزاردانه (۵۸/۸ گرم) و کمترین وزن هزاردانه (۴۵/۸ گرم) به ترتیب با آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی شدید ثبت شد (شکل ۷). در گزارشی کاهش توانایی گیاه برای تأمین آب باعث کاهش وزن هزار دانه شد (Munir et al., 2021). دانائی راد و همکاران (Danaei Rad et al., 2024) در پژوهش خود نشان دادند تنش شدید خشکی موجب کاهش ون هزار دانه ماش به میزان ۲۳ درصد می‌شود. محققان کاهش وزن هزاردانه در طول کم‌آبیاری را کاهش فرآیند فتوسنتز و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و همچنین، کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه ذکر کرده‌اند (Khalili & Hamze, 2019). این صفت با وزن خشک غلاف بدون دانه (r =۰/۸۰**)، وزن خشک اندام هوایی (r =۰/۸۷**)، تعداد دانه در بوته (r =۰/۷۷**) و وزن دانه (r =۰/۷۵**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

جدول ۵- میانگین مربعات صفات وزن دانه و اجزای عملکرد ماش سبز تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه

منابع تغیرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن هزاردانه	تعداد دانه در بوته	وزن دانه	شاخص برداشت
بلوک	2	10.96 ns	20.4ns	12235.2 ns	12.97 *
آبیاری (I)	2	1527.5**	602.6**	2723932.9**	310**
هیومیک اسید (H)	1	29.4 ns	22.6	85199.2 ns	5.9 ns
اسید امینه (F)	5	19.3 ns	87**	273343.9**	39.45**
I×F	8	6.3 ns	166.6**	206909.6**	7.54 ns
I ×H	2	6.25 ns	19.3 ns	85992.4 *	5.3 ns
H×F	10	1.93 ns	5.85 ns	98073.96*	0.91 ns
H×I×F	5	1.93 ns	11.6 ns	104861.3 **	1.2 ns
خطا	70	9.21	10.9	7056.6	3.86
CV(٪)	-	5.77	16.90	23.63	4.60

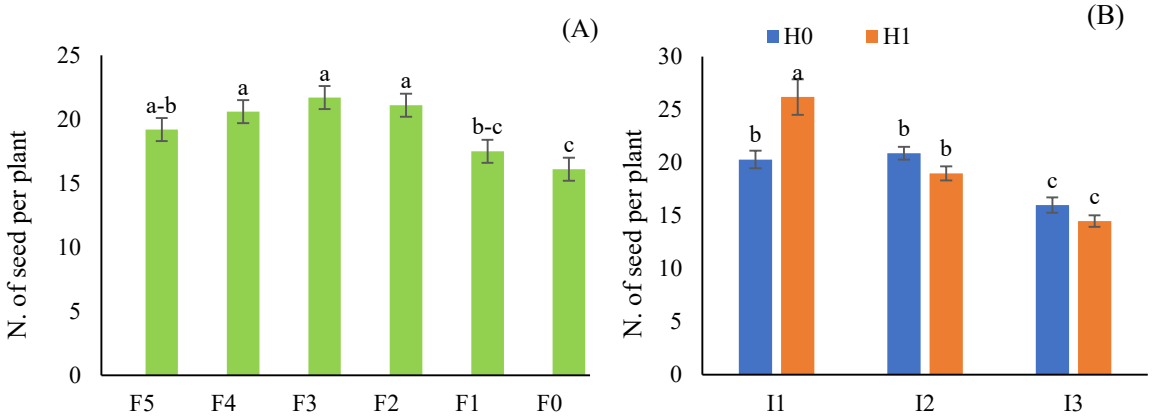
ns: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۵٪



شکل ۷- اثر اصلی رژیم آبیاری بر روی وزن هزار دانه .میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید

تعداد دانه در بوته

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس این صفت از اثر اصلی محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و اثر متقابل آبیاری و کاربرد هیومیک اسید در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته از کاربرد هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب با ۲۶/۲ عدد بدست آمد (شکل ۸). همچنین، بررسی اثر اصلی اسیدهای آمینه نشان داد کاربرد اسیدهای آمینه نسبت به محلول‌پاشی با آب مقطر و عدم محلول‌پاشی تعداد دانه در بوته بیشتری تولید کرد (شکل ۸). در تحقیقات مختلف اعمال کم‌آبیاری موجب کاهش تعداد دانه در سطح تنش ملایم و شدید شده است (Danaei Rad et al., 2024; Aghdasi et al., 2018). کاهش تعداد دانه در بوته بدلیل اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها و عقیم شدن دانه‌های گرده گزارش شده است (Raeisi et al., 2020). تعداد دانه در بوته با وزن خشک غلاف بدون دانه (**۰/۸۴= r)، وزن خشک اندام هوایی (**۰/۹۰= r) و وزن دانه (**۰/۸۳= r) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

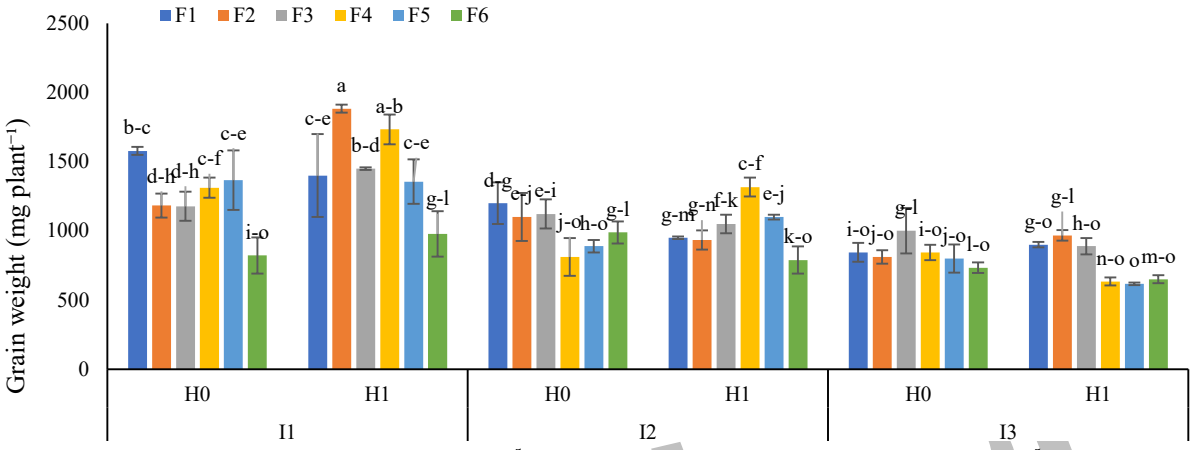


شکل ۸- اثرات اصلی اسیدهای آمینه (A) و برهمکنش آبیاری و هیومیک اسید (B) بر تعداد دانه در بوته (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر، F6 : بدون محلول‌پاشی.

وزن دانه

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که برهمکنش سه گانه رژیم‌های آبیاری، هیومیک اسید و اسیدهای آمینه بر وزن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن دانه با محلول‌پاشی دو گرم اسیدهای آمینه، خاک‌پاش هیومیک اسید در شرایط مطلوب با ۱۸۸۳/۳ میلی‌گرم در بوته تولید شد. که با تیمار محلول‌پاشی چهار گرم اسیدهای آمینه، کاربرد هیومیک اسید در شرایط مطلوب با ۱۷۳۳/۳ میلی‌گرم در بوته در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین، نتایج نشان داد در شرایط تنش کم‌آبی متوسط، کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه و هیومیک اسید با ۱۳۱۶/۷ میلی‌گرم وزن دانه در بوته نسبت به سایر سطوح در این رژیم آبیاری بیشتر بود. بعلاوه، در شرایط تنش کم‌آبی شدید، کاربرد سه گرم اسیدهای آمینه و بدون کاربرد هیومیک اسید با ۱۰۰۰ میلی‌گرم وزن دانه در بوته و کاربرد دو گرم اسیدهای آمینه با کاربرد هیومیک اسید با ۹۶۶/۸ میلی‌گرم دانه در بوته بیشتر از سایر سطوح در این رژیم آبیاری بود (شکل ۸). کمبود آب باعث تأثیر منفی بر انتقال مواد غذایی به دانه‌ها و در نتیجه کاهش تشکیل غلاف و اندازه دانه می‌شود و نتیجه آن کاهش وزن دانه می‌باشد (Medrano et al., 2002). اسیدهای آمینه به عنوان اجزای سازنده پروتئین‌ها در گیاهان عمل می‌کنند در نتیجه محلول‌پاشی اسیدهای آمینه می‌تواند تأمین مواد اولیه برای ساخت پروتئین‌ها را فراهم کند و به توسعه دانه‌ها کمک نماید (Paul and Panwar, 2016). این صفت بیشترین همبستگی مثبت را با

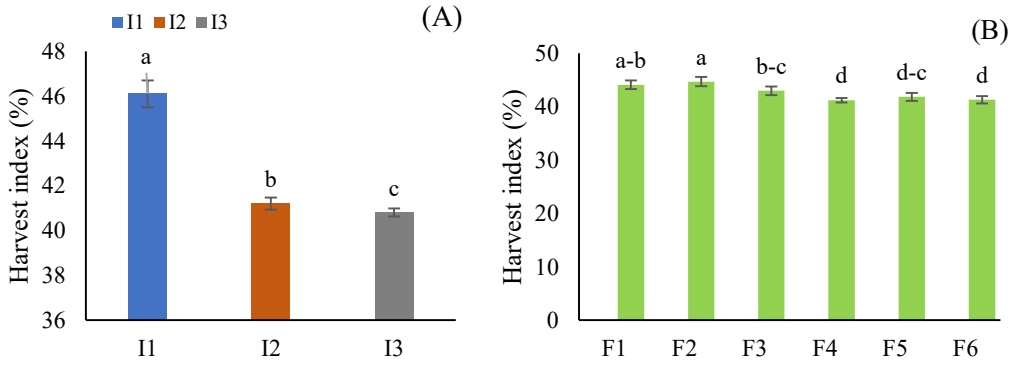
وزن خشک اندام هوایی (r =۰/۹۳**)، تعداد دانه در بوته (r =۰/۸۳**)، وزن هزار دانه (r =۰/۷۵**) و شاخص برداشت (r =۰/۷۱**) داشت (جدول ۷).



شکل 8- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر وزن دانه ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد بیشترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری مطلوب با ۴۶/۱ درصد بدست آمد و با افزایش شدت تنش، میزان آن کاهش یافت به طوری که در شرایط تنش کم‌آبی شدید، شاخص برداشت به ۴۰/۸ درصد رسید. همچنین، بررسی اثر اصلی محلول‌پاشی نشان داد بالاترین شاخص برداشت در کاربرد دو گرم اسیدهای آمینه با ۴۴/۷ درصد مشاهده شد که با محلول‌پاشی یک گرم اسیدهای آمینه با ۴۴/۱ درصد در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۹). تنش کم‌آبی منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه شود و انرژی کمتری برای تولید گل‌ها و در نهایت دانه باشد و این تغییرات باعث کاهش شاخص برداشت می‌شوند (Chaves et al., 2003). بالاترین همبستگی بین این صفت و وزن هزار دانه (r =۰/۷۱**) و وزن دانه (r =۰/۷۱**) حاصل شد (جدول ۷).



شکل ۹- اثرات اصلی رژیم آبیاری (A) و اسیدهای آمینه (B) بر روی وزن شاخص برداشت (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1:

محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب ، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر، F6 : بدون محلول‌پاشی.

رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین

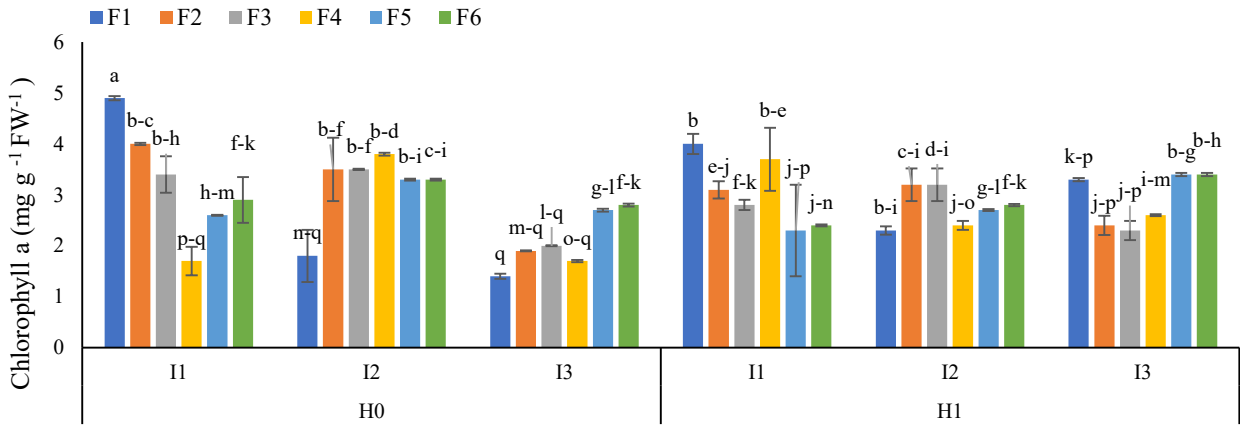
کلروفیل a، b و کل و آنتوسیانین تحت تأثیر برهمکنش سه گانه رژیم آبیاری، هیومیک اسید و آمینواسید در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت ولی اثر دوگانه هیومیک اسید و آمینواسید در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد روی کارتنوئید تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۶).

جدول ۶- میانگین مربعات صفات بیوشیمیایی ماش سبز تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه

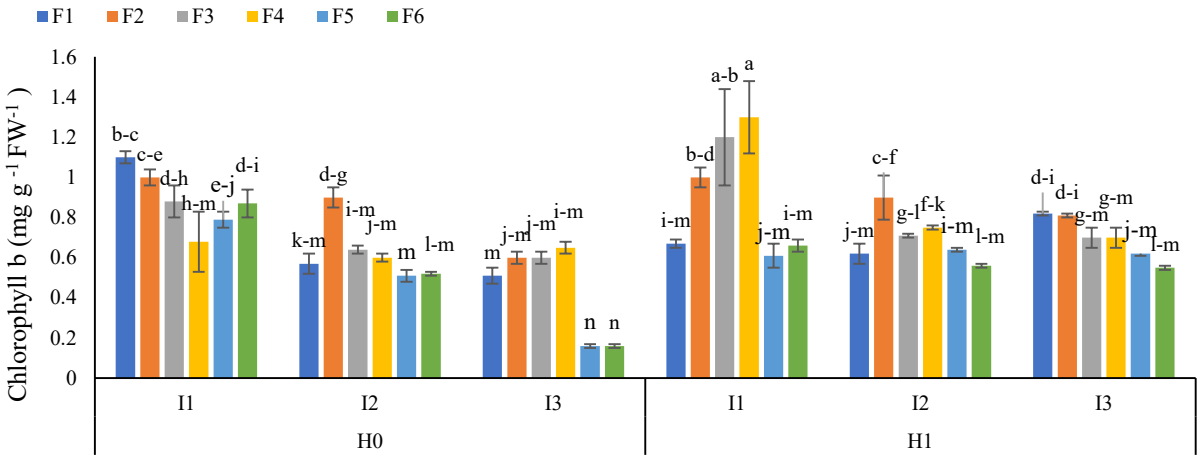
منابع تغیرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	آنتوسیانین
بلوک	2	0.42^{ns}	0.02^{ns}	0.37^{ns}	0.0046^{ns}	64.46^{ns}
آبیاری (I)	2	4.33**	0.93**	8.72**	0.1003**	1464.78**
هیومیک اسید (H)	1	0.09	0.39**	0.87	0.0048	145.79
اسید امینه (F)	5	0.31	0.31**	0.60*	0.0186**	322.12**
I×F	8	3.93**	0.12**	0.52**	0.0012	2.27
I ×H	2	2.98**	0.02*	2.97**	0.0060	257.14**
H×F	10	0.57*	0.04*	0.64*	0.0127*	229.27*
H×I×F	5	1.21**	0.10**	1.77**	0.0085	249.15**
خطا	70	0.22	0.01	0.24	0.0047	85.94
CV (٪)	-	16.18	16.65	13.53	23.69	19.23

ns: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۵٪.

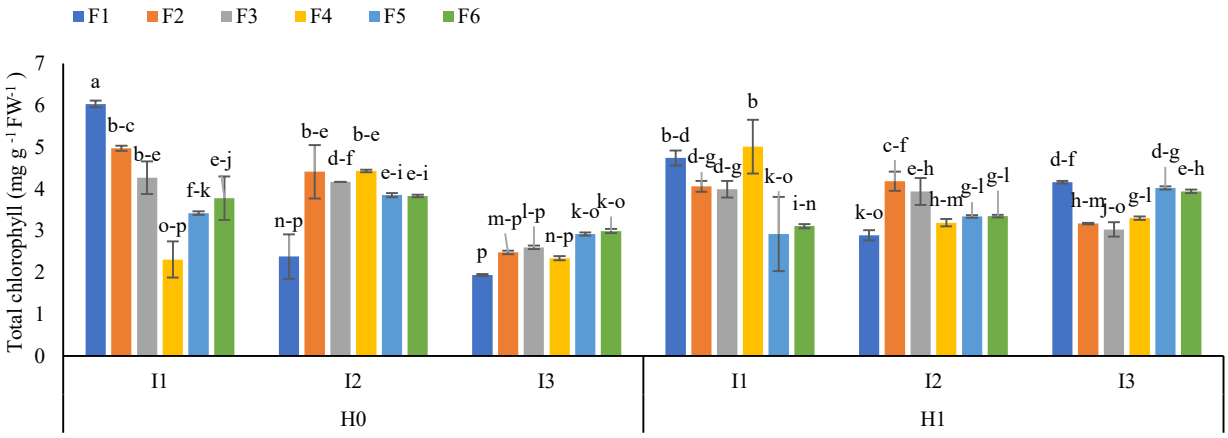
نتایج نشان داد تیمار محلول‌پاشی یک گرم اسیدآمینه + بدون هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب با ۴/۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ کلروفیل a بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۱۰). در حالی که بیشترین مقدار کلروفیل b از کاربرد خاک‌پاش هیومیک اسید با محلول‌پاشی سه و چهار گرم اسیدآمینه در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب با ۱/۲ و ۱/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ مشاهده شد (شکل ۱۱). مقدار کلروفیل کل نیز همانند کلروفیل a، از تیمار کاربرد یک گرم آمینواسید و بدون هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب بدست آمد (شکل ۱۲). رنگدانه‌های فتوسنتزی بالاترین همبستگی را با صفات وزن خشک اندام هوایی و کارتنوئید داشتند و با توجه به نقش مستقیم رنگدانه و فتوستز در افزایش رشد گیاه این همبستگی قابل انتظار بود (جدول ۷).



شکل ۱۰- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت کلروفیل a ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.



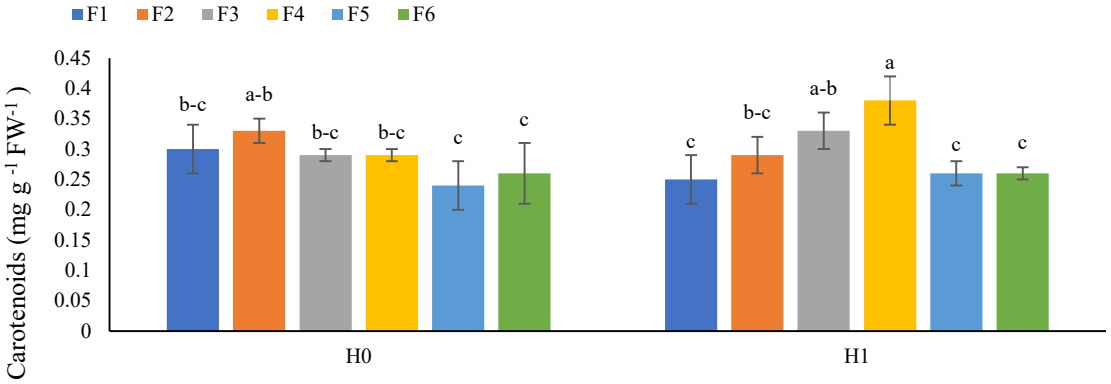
شکل ۱۱- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت کلروفیل b ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.



شکل ۱۲- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت کلروفیل کل ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در

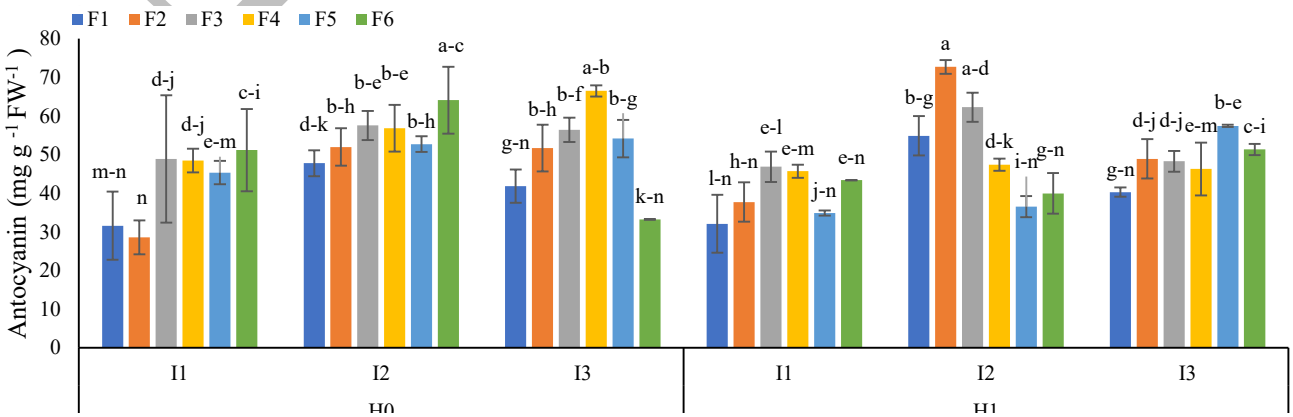
لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

برهمکنش هیومیک اسید و آمینواسیدها نشان داد کارتنوئید با محلول‌پاشی چهار گرم آمینواسید و هیومیک اسید با ۰/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بیشترین بود و با کاربرد سه گرم آمینواسید و هیومیک اسید و همچنین، محلول‌پاشی دو گرم آمینواسید و بدون هیومیک اسید در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۱۳). همبستگی مثبت و معناداری بین کارتنوئید و صفات وزن خشک اندام هوایی (r =۰/۷۱**)، تعداد دانه در بوته (r =۰/۵۷**)، وزن هزار دانه (r =۰/۶۲**)، وزن دانه (r =۰/۶۰**)و شاخص برداشت (r =۰/۵۶**) ایجاد شد (جدول ۷).



شکل ۱۳- برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه بر غلظت کارتنوئید ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

اثر سه گانه رژیم‌های آبیاری، هیومیک اسید و آمینواسیدها نشان داد بیشترین مقدار آنتوسیانین در شرایط تنش کم‌آبی متوسط با کاربرد دو گرم آمینواسید و خاک‌پاش هیومیک اسید با ۷۲/۷ نانومول بر گرم وزن تر برگ تولید شد که با تیمارهای محلول‌پاشی دو گرم آمینواسید و خاک‌پاش هیومیک اسید (۶۲/۳ نانومول بر گرم وزت تر برگ) و بدون محلول‌پاشی و بدون هیومیک اسید (۶۴/۱ نانومول بر گرم وزن تر برگ) در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و تیمار محلول‌پاشی چهار گرم آمینواسید و بدون هیومیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی شدید در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱۴). جدول همبستگی ضرایب نشان داد آنتوسیانین با وزن خشک غلاف (r=-۰/۳۳*)، وزن خشک اندام هوایی (r=-۰/۳۴*)، وزن دانه (r=-۰/۳۹*) و شاخص برداشت (r=-۰/۵۱**) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۷).



شکل ۱۴- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت آنتوسیانین کل ماش سبز (مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد.) میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید ، F1: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب(نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول‌پاشی با آب مقطر(نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6 : بدون محلول‌پاشی(نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تشدید فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، تولید ترکیبات فنلی، افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن و آسیب رساندن به غشاء کلروپلاست و اختلال در جذب نیتروژن از خاک به عنوان عوامل کاهنده غلظت کلروفیل در تنش‌های شدید شناخته شده است (Smirnoff, 1993). افزایش محتوای کلروفیل برگ ممکن است به دلیل تسریع جذب نیتروژن، متابولیسم بهتر نیتروژن و تولیدپروتئین‌های محافظت کننده به دلیل استفاده از اسید هیومیک باشد (Haghighi et al., 2012). در گزارشی، تولید بیشتر مقدار کلروفیل در لوبیا با استفاده از کاربرد هیومیک اسید مشاهده شده است (Ayas & Gulser, 2005).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات رشدی، عملکردی و خصوصیات فیزیولوژیکی ماش سبز

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱. ارتفاع	1														
۲. سطح برگ	0.57**	1													
۳. وزن خشک برگ	0.26	0.49**	1												
۴. وزن خشک ساقه	0.56**	0.79**	0.67**	1											
۵. وزن خشک غلاف	0.53**	0.66**	0.55**	0.73**	1										
۶. وزن خشک کل	0.62**	0.76**	0.73**	0.87**	0.89**	1									
۷. وزن هزار دانه	0.38*	0.70**	0.77**	0.74**	0.80**	0.87**	1								
۸. تعداد دانه در بوته	0.67**	0.72**	0.64**	0.77**	0.84**	0.90**	0.77**	1							
۹. وزن دانه	0.67**	0.73**	0.52**	0.72**	0.80**	0.93**	0.75**	0.83**	1						
۱۰. شاخص برداشت	0.32	0.53**	0.53**	0.68**	0.67**	0.75**	0.71**	0.54**	0.71**	1					
۱۱. کلروفیلa	0.02	0.22	0.37*	0.30	0.34*	0.33*	0.37*	0.20	0.24	0.37*	1				
۱۲. کلروفیل b	0.45**	0.50**	0.62**	0.67**	0.65**	0.74**	0.63**	0.62**	0.65**	0.61**	0.37*	1			
۱۳. کلروفیل کل	0.19	0.32	0.49**	0.40*	0.46**	0.48**	0.49**	0.33*	0.38*	0.48**	0.97**	0.58**	1		
۱۴. کارتنوئید	0.45**	0.48**	0.62**	0.69**	0.63**	0.71**	0.62**	0.57**	0.60**	0.56**	0.28	0.78**	0.45**	1	
۱۵. آنتوسیانین	-0.32	-0.21	-0.14	-0.22	-0.33**	-0.34**	-0.24	-0.22	-0.39*	-0.51**	-0.18	-0.12	-0.19	-0.17	1

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبیاری تأثیر منفی بر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی)، رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد و اجزای عملکرد (وزن دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت) دارد. با این حال کاربرد برگی اسیدهای آمینه و کاربرد خاکی اسید هیومیک در تعدیل اثر منفی تنش بر صفات ماش سبز موثر بود. بر این اساس بیشترین ارتفاع بوته و سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن دانه با کاربرد همزمان اسید آمینه و هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد. با تکیه بر نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر کاهش صفات مهم عملکردی و مورفولوژیک گیاه ماش بر اثر تنش کم‌آبی ملایم و شدید، محلول‌پاشی سه گرم اسیدآمینه به همراه کاربرد خاکی هیومیک اسید به منظور بهبود خصوصیات رویشی و عملکردی گیاه ماش سبز در شرایط آبیاری مطلوب و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی توصیه می‌شود.

منابع

Abedi, A. M., Modarres-Sanavy, S. A. M. and Heidarzadeh, A. (2025). Study of yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under water deficit stress with the application of zeolite and wood vinegar. *Plant Productions*, *48*(1), 21-38. (In Farsi) https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46482.2155

Abeer, H. M., Abdel-Satar, A. M., & Hasan, H. S. (2020). Ameliorative effect of humic acid and/or proline on some bean plant varieties under drought stress. Saudi Journal of Biological Sciences, 27(8), 2046–2052.

Aghdasi, S., Modares Sanavy, S. A. M., Aghaalikhani, M., & Keshavarz, H. (2018). Effect of foliar application of Iron and Manganese on Yield and Yield components of Mungbean under Water deficit stress. *Water and Soil Science*, *28*(3), 13-25.

Ahmed, A. F., & Fakkar, A. A. (2020). Effect of humic acid and powders of some plants producing allelopathic compounds on soil properties and productivity of faba bean. Asian Journal of Research and Review in Agriculture, 52, 52–69.

Alshaal, T., & El-Ramady, H. (2017). Foliar application: From plant nutrition to biofortification. Environment, Biodiversity and Soil Security, 1, 71–83. https://doi.org/10.21608/JENVBS.2017.1089.1006.

Asadi, H., Ghotbi, V., Feyzbakhsh, M. T., & sheikh, F. (2022). Economical comparison of planting of different forage legumes cultivars (Faba bean, Grass pea, Vetch, Green Pea) in Gholestan province. Iranian Journal Pulses Research, 13(2), 207-220. https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2101-1000.

Ayas, H. & Gulser, F. (2005). The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, 5(6), 801-804.

Bhadoria, P. B. S., Prakash, R., & Varshney, S. (2020). Response of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes under water stress conditions. *Legume Research*, 43(1), 27-31 .

Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264. https://doi.org/10.1071/FP02076

Danaei Rad, E., Zamani, G., & Fallahi, H. (2024). The Effect of Foliar Application of Cycocel on Quantitative Traits Related to the Yield of Mung Bean (Vigna radiata) Genotypes under Water Deficit Conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, *14*(2), 221-233. https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.82200.1058.

Doroodian, M., Sharghi, Y., Alipour, A., and Zahedi, H. 2016. Yield and Yield Components of Wheat as Influenced by Sowing Date and Humic Acid. *International Journal of Natural Sciences*, 5(1): 8-14.

Ehtesham, H. A., Mahmoud, A. H., & Gharib, H. S. (2018). Humic acid and salicylic acid mitigate the harmful effects of drought stress in chickpea plants. *South African Journal of Botany*, 115, 92-98 .

El-Aal, A. (2018). Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, *56*(4th ICBAA), 187-202. https://doi.org/10.21608/ASSJM.2018.65137

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.

Fayaz, E., SOROOSHZADEH, A. and Heidarzadeh, A. (2024a). Effect of foliar application of amino acids on some physiological processes of oil rapeseed (*Brassica Napus* L.) under late-season drought stress conditions. *Plant Productions*, *47*(1), 65-83. (In Farsi) https://doi.org/10.22055/ppd.2024.45873.2138

Fayaz, E., Sorooshzadeh, A. and Heidarzadeh, A. (2025). Response of physiological and biochemical characteristics of oilseed rape Nima cultivar (*Brassica napus* L.) to foliar application of amino acids under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *18*(2), 229-249. (In Farsi) https://doi.org/10.22077/escs.2024.7036.2256

Fayaz, E., Sorooshzadeh, A., & Heidarzadeh, A. (2024b). Effect of foliar application of amino acids under water deficit conditions during late-season on yield and yield components of oil rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(1), 139-149. (In Farsi) https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.368145.655044.

Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, S., Haj Seyed Hadi, M. R. & Darzi, M. T. (2013). Effects of vermicompost and nitrogen on quantitative and qualitative yeild of chamomile (*Matricaria chamomilla L.*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 2, 269-280. (In Farsi)

Hafez, Y. M., Mourad, R. Y., Nasr, E. B., Attia, K. O. T. B., Abdelaal, K. A., Ghazy, A. I., & Mohammed, A. A. (2020). Biochemical and molecular characterization of non-host resistance keys in food crops. Saudi Journal of Biological Sciences, 27(4), 1091–1099. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.12.041

Haghighi, M., Kafi, M. & Fang, P. (2012). Photosynthetic activity and N metabolism of lettuce as affected by humic acid. *International Journal of Vegetable Science*, 18, 182-189.

Harper, S. M., Kerven, G. L., Edwards, D. G., & Ostatek-Boczynski, Z. (2000). Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of Eucalyptus camaldulensis and from decomposed hay. *Soil Biology and Biochemistry*, *32*(10), 1331-1336. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00021-3

Heidarzadeh, A. and Modarres-Sanavy, S. A. M. (2023). Effect of amino acids combination on the quantitative and qualitative characteristics of garlic (*Allium Sativum* L.). *Plant Productions*, *46*(2), 237-249. (In Farsi) https://doi.org/10.22055/ppd.2023.42775.2071

Heidarzadeh, A., Modares Sanavi, S. A. M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021a). Investigate different nutritional regimens on some forage quantitative and qualitative traits of *Dracocephalum kotschyi* Boiss under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(2), 15-27. (In Farsi) https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.292093.654654

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy , S. A. M., & Ebrahimi-Esborezi, H. (2021b). Effect of priming and foliar application of different amino acids on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in late sowing. *Iranian Journal of Pulses Research, 12*, 88-99. (In Farsi). https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.83900

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S., A, M, 2021. Effects of Application and Type of Amino Acids on the Activity of Antioxidant Enzymes, Proline Content and Seed yield of Lentil (*Lens culinaris* Medik.). Plant products 44, 381-394. (In Farsi) https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31327.1834

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2022). Changes in Yield and Essential Oil Compositions of *Dracocephalum kotschyi* Boiss in Response to Azocompost, Vermicompost, Nitroxin, and Urea Under Water Deficit Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition,* 22, 896–913. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00700-z

Hiscox, J.t., Israelstam, G., (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57, 1332-1334

Kalantarahmadi, S., & Dezfouli, A. A. S. (2021). Effects of drought stress and foliar application of ascorbic acid, salicylic acid, methanol and post-harvest storage on seed yield and seed vigor of Hyola401 rapeseed cultivar. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(57): 109-130. https://doi.org/10.22059/jci.2021.299946.2372

Kaya, M., Atak, M., Khawar, Kh., Ciftei, C.Y. & Ozcan, S. 2014. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of cowpea. *International journal of agriculture & biology*, 7(6), 875-878.

Keshavarz, H., Modaress, A. M., & zarinkamar, F. (2014). Differences in antioxidant responses of autumn and spring rapeseed (Brassica napus L.) cultivars affected by salicylic acid under the field condition. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27*(2), 288-298.

Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S. A., Modares Sanavi, S. A. M., Eftekhari, A., & Nashaeai Moghadam, M. (2023). Effect of foliar application of some amino acids on growth and yield of chickpea (*Cicer arientinum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(1), 27-40. (In Farsi). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2022.339351.654902

Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S.A., Modarres Sanavy, S.A.M., Eftekhari, A. and Moghadam, M.N. (2023). Effect of foliar application of amino acids on grain yield and physiological traits of chickpea under drought stress. *Gesunde Pflanzen*, *75*(5), 1705-1718.(In Farsi) https://doi.org/10.22059/IJFCS.2022.339351.654902

Khalili, M., & Hamze, H. (2019). Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (Beta vulgaris). Journal of Crop Ecophysiology, 3(51), 395–412.

Khalili, M., Naghavi, M. R., & Talebzade, S. J. (2020). Evaluation of changes in morphological, physiological and biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(2), 15-28. doi: 10.22059/ijfcs.2019.250429.654438.(In Farsi) https://doi.org/ 10.22059/IJFCS.2019.250429.654438

Khan, A., Gurmani, A. R., Khan, M. Z., Hussain, F., Akhtar, M. E., & Khan, S. (2012). Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment, and total sugar contents of peas (Pisum sativum L.). Journal of the Chemical Society of Pakistan, 6, 56–63.

Khan, N., Bano, A., Rahman, M. A., Rathore, R. S., & Khan, A. (2017). Drought-induced changes in growth, yield, biomass, carbon-isotope discrimination, δ18O, and δ13C of mungbean at different growth stages. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(4), 254-267 .

Khanna, P., Gautam, R. D., & Thakur, M. (2018). Effect of different water regimes on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Environment and Ecology*, 36(1A), 222-226.

Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya, A., & Mirecki, R. M. (1993). UV-B response of cucumber seedlings grown under metal halide and high-pressure sodium/deluxe lamps. Physiologia Plantarum, 88(2), 350–358.

Kumar, M., Sirhindi, G., Bhardwaj, R., Kumar, S., Jain, G., & Sharma, D. K. (2018). Amino acids: Metabolism, functions, and signalling in plants. Journal of Plant Biology, 41(1), 1–11. https://doi.org/10.1007/s12374-017-0335-6

Kumari, S., Kumar, V., Kothari, R., & Kumar, P. (2022). Effect of supplementing biochar obtained from different wastes on biochemical and yield response of French bean (Phaseolus vulgaris L.): An experimental study. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 43, 102432. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102432

Lian, X., Zhang, Y., Li, Y., Wang, Z., & Chen, J. (2023). Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and nitrogen metabolism in mungbean (Vigna radiata L.). Plants, 12(17), 3082.

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. Methods in Enzymology, 148, 350–382.

Mahajan, G., Das, B., Sardana, V., Chauhan, B. S., & Gill, M. S. (2023).

Medrano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulías, J., & Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of botany*, 89(7), 895-905.

Mikkelsen, R. L. (2005). Humic materials for agriculture. *Better crops*, *89*(3), 6-10.

Momeni-Shijani, K., Modarres-Sanavy, S. A. M., Heidarzadeh, A. and Abedi, A. M. (2024). Study of photosynthetic pigments, seed yield and oil compositions of camelina (*Camelina sativa* L.) under the influence of urea foliar application and irrigation regimes in Tehran. *Plant Productions*, *47*(3), 387-403. (In Farsi) https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46765.2161

Moradi-Ghahderijani, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Heidarzadeh, A. (2024). Evaluation of physiological characteristics and forage quality of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) under the different irrigation levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *17*(2), 271-286. (In Farsi) https://doi.org/10.22077/escs.2023.5740.2171

Mungbean growth and yield response in relation to water stress and elevated temperature conditions. Agronomy, 13(10), 2546.

Munir, M. A., Hussain, M., Farooq, M., & Jabran, K. (2021). Drought stress in plants: An overview. *Plant stress physiology*, 81-97.

Naghavi, Z., Modarres-Sanavy, S. A. M., Heidarzadeh, A. and abedi, A. M. (2024). Effect of Different Irrigation Regimes and Foliar Application of Iron Chelate on Physiological Traits and Chlorophyll Fluorescence Parameters in European Borage (*Borago officinalis* L.). *Research in Horticultural Sciences*, *3*(1), 147-168. (In Farsi) https://doi.org/10.22092/rhsj.2025.367202.1106

Neisi, H., Rafieiolhossaini, M., Tadayon, M. R., Ahmadpour, S. R., & Karimi, A. (2023). Evaluation of humic acid and fulvic acid with different sources of nitrogen fertilizer effects on agronomic characteristics of Anbarboo rice (*Oryza sativa* L.) under direct cultivation systems. *Journal of Crops Improvement*, *25*(4), 987-1000. https://doi.org/ 10.22059/jci.2023.352306.2769

Panda, D., Basak, J., Rahman, L., & Panigrahy, M.(2013). Effect of drought stress on morphological and yield parameters of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 16(2), 99-103.

Paul, P. J., & Panwar, A. S. (2016). Amino acids and their derivatives: A tool for plant adaptation to environmental constraints. *In Plant-Environment Interaction* (pp. 141-160). Springer.

Raeisi, M., Shahbazi, E., Shafeinia, A. (2020). Assessment of yield and yield components of doubled-haploid lines of rapeseed under drought stress, *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1077-1092. (In Farsi). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2301.1592

Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, *9*, 1655. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655

Sadak, M.S., Bakry, B.A., Abdel-Razik, T.M. and Hanafy, R.S. (2023). Amino acids foliar application for maximizing growth, productivity and quality of peanut grown under sandy soil. *Brazilian Journal of Biology*, 83, p.e256338. https://doi.org/10.1590/1519-6984.256338

Salehi, M., Faramarzi, A., Farboodi, M., Mohebalipour, N., & Ajalli, J. (2021). Symbiosis effects of mycorrhizal and Pseudomonas on morphophysiological traits of mung bean (Vigna radiata (L.) Wilczek) under moisture-stressed conditions. Iranian Journal of Pulses Research, 12(1), 111–126. (In Farsi). https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.84409

Sehrawat, N., Jaiwal, P. K., Yadav, M., Bhat, K. V., & Sairam, R. K. (2013). Salinity stress restraining mungbean (Vigna radiata (L.) Wilczek) production: gateway for genetic improvement. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *6*(9), 505.

Smirnoff. N. (1993). The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-28.

Tantasawat, P., Trongchuen, J., Prajongjai, T., Thongpae, T., Petkhum, C., Seehalak, W., & Machikowa, T. (2010). Variety identification and genetic relationships of mungbean and blackgram in Thailand based on morphological characters and ISSR analysis. *African Journal of Biotechnology*, *9*(27), 4452-4464.

Wang, D., Deng, X., Wang, B., Zhang, N., Zhu, C., Jiao, Z., Li, R., & Shen, Q. (2019). Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without Bacillus amyloliquefaciens SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. PLoS ONE, 14(9), e0222048. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222048.