Journal of Vegetables Sciences, Spring & summer 2025, Vol 9, No 17(1), Pages 179-200

Ilam University

doi: 10.22034/iuvs.2023.2012442.1319 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Investigating the effect of humic acid on the water use efficiency, yield, and some physiological characteristics of bell pepper plants under different water levels

Mahtab Roshaniyan[1] Afsaneh Alinejadian-Bidabadi[2*] Abbas Maleki[3], Amir Lakzian[4]

1- Ph.D Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

4- Professor Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

[*]**Corresponding author:** alinezhadian.a@lu.ac.ir

(**Received:** 27 September 2023 **Revise:** 27 December 2023 **Accepted:** 30 December 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** An experiment in a randomized complete block design with three levels of humic-acid (0 (HA_0), 2 (HA_2), and 4 (HA_4) gr/pot) and four irrigation levels (60 (L_{60}), 80 (L_{80}), 100 (L_{100}), 120 (L_{120}), percent of soil moisture depletion) with four replications was performed in the research greenhouse at Faculty of Agriculture of Bojnourd University. To prepare the pots, the soil sample was passed through a 2 mm sieve, and humic acid was added to the soil sample according to the experimental treatments. Two bell pepper seedlings were transferred to each pot, and all pots were irrigated according to the experimental treatments. Eighty days after cultivation, Plants were harvested, and soil samples were air dried. Soil texture, soil pH, electrical conductivity (ECe), soil organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, total chlorophyll a, b, and carotenoid content, water use efficiency, stomatal conductance, and yield were determined by conventional methods.
2. **Materials and Methods:** An experiment in a randomized complete block design with three levels of humic-acid (0 (HA_0), 2 (HA_2), and 4 (HA_4) gr/pot) and four irrigation levels (60 (L_{60}), 80 (L_{80}), 100 (L_{100}), 120 (L_{120}), percent of soil moisture depletion) with four replications was performed in the research greenhouse at Faculty of Agriculture of Bojnourd University. To prepare the pots, the soil sample was passed through a 2 mm sieve, and humic acid was added to the soil sample according to the experimental treatments. Two bell pepper seedlings were transferred to each pot, and all pots were irrigated according to the experimental treatments. Eighty days after cultivation, Plants were harvested, and soil samples were air dried. Soil texture, soil pH, electrical conductivity (ECe), soil organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, total chlorophyll a, b, and carotenoid content, water use efficiency, stomatal conductance, and yield were determined by conventional methods.
3. **Results and Discussion:** The results showed that the best bell pepper fruit yield was observed in $L_{80}H_{40}$, $L_{100}H_{40}$, and $L_{120}H_{40}$ treatments, respectively, which had no significant difference, while the highest water use (7136.80 m^3 ha^{-1}) was seen in $L_{120}HA_0$. Also, the lowest values of yield (14.21 g $plant^{-1}$) and water use (3584.61 m^3 ha^{-1}) were observed in $L_{60}HA_0$ and $L_{60}HA_{40}$, respectively. Moreover, the results showed that the maximum value of WUE was obtained in $L_{80}HA_{40}$ (7.45 kg m^{-3}), while the lowest WUE value was obtained in $L_{60}HA_0$ (0.80 kg m^{-3}) These results can be attributed to the ratio of yield to water use so that the yield has increased with the increase in water use, but the rate of increase in yield is lower than the rate of increase in water use. The amount of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids of the plant increased significantly with the increase in the application of humic acid and irrigation levels. Also, according to the results, it can be recommended to use humic acid to reduce the negative effects of drought stress in bell pepper. The results showed that with the use of the higher amount of humic acid (HA_4) and less irrigation water consumption (80% soil moisture depletion), the fruit yield of bell peppers incresedand the Water consumption was saved, on the other hand, by improving the physical and chemical characteristics of soil and improved the plant growth, crop production increased. Therefore, the application of humic acid can be a sustainable solution to increase the growth of bell pepper in The conditions of drought stress. According to this study's results, increasing the severity of drought stress will result in the reduction of the studied traits, However, humic acid fertilizer treatment can protect the plant against drought stress by increasing growth indicators such as root length, stem length, and relative water content of leaves, that leads to reduction of damage caused by stress.
4. **Conclusion:** In general, nutrient absorption, pepper growth, and pepper yield were observed in the HA_{40} treatment with an 80% soil moisture level. It seems that the use of humic acid can counteract the detrimental effects of water deficit in soil. Applying humic acid increased the water efficiency in the experimental condition. More soil water content (100 and 120 percent of soil moisture discharge) did not

show any significant effect in increasing bell pepper yield. So, based on the research results, HA application and less soil water content (L_{80}) are valuable strategies for increasing the yield and WUE in pepper plant production in greenhouse conditions.

Keywords**:** Chlorophyll, Organic acid, Stomatal conductance, Water stress.

Citation: Roshaniyan, M., Alinejadian-Bidabadi, A., Maleki, A. & Lakzian, A. (2025). Investigating the effect of humic acid on the water use efficiency, yield, and some physiological characteristics of bell pepper plants under different water levels. *Journal of Vegetables Sciences*, 17(1), 179-200. doi:10.22034/iuvs.2023.2012442.1319

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights. granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۹ ، دوره ۱۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، صفحات (۲۰۰-۱۷۹)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2023.2012442.1319

بررسی اثر اسید هومیک بر کارایی مصرف آب، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه‌ای تحت سطوح مختلف آبی

مهتاب روشنیان[۱]، افسانه عالی‌نژادیان بید آبادی[۲]، عباس ملکی[۳]، امیر لکزیان[۴]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان،خرم آباد، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه لرستان،خرم آباد، ایران

۴- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

*نویسنده مسئول: alinezhadian.a@lu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹)

چکیده

با توجه به بحران کم‌آبی و نقش به‌سزای اسیدهای آلی در کاهش اثرات منفی تنش خشکی، مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی اثر همزمان اسید هومیک و کم‌آبیاری بر کارایی مصرف آب، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح اسید هومیک (صفر، ۲۰ و ۴۰ گرم بر گلدان) و چهار سطح آبیاری (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد از تخلیه رطوبتی خاک)، در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه بجنورد با چهار تکرار انجام شد. بهترین عملکرد میوه فلفل دلمه‌ای به ترتیب در تیمارهای $L_{80}H_{40}$، $L_{100}H_{40}$ و $L_{120}H_{40}$ مشاهده گردید که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند و کم‌ترین عملکرد (۱۴/۲۱ گرم در بوته) در تیمار $L_{60}HA_0$ مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کارایی مصرف آب به‌ترتیب در تیمار $L_{80}HA_{40}$ (۷/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) و تیمار $L_{60}HA_0$ (۰/۸ کیلوگرم در متر مکعب) مشاهده شد. مقادیر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید گیاه با افزایش مقدار اسید هومیک مصرفی و سطوح آبیاری به‌صورت معنی‌داری افزایش و با اعمال تنش آبی، کاهش یافت. کاربرد ۴۰ گرم بر گلدان اسید هومیک، سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی در مقایسه با عدم کاربرد اسید هومیک گردید، به‌طوری‌که غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم فلفل دلمه‌ای در تیمار HA_{40} نسبت به تیمار HA_0 به ترتیب، ۵۰/۳، ۳۴/۸ و ۱۴/۵ درصد افزایش نشان داد. با توجه به نتایج می‌توان استفاده از اسید هومیک را برای کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی فلفل دلمه‌ای توصیه نمود.

***واژه‌های کلیدی*: اسید آلی، تنش آبی، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل.**

استناد: روشنیان، م.، عالی نژادیان بیدآبادی، ا.، ملکی، ع. و لکزیان، ا. (۱۴۰۴). بررسی اثر اسید هومیک بر کارایی مصرف آب، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه‌ای تحت سطوح مختلف آبی. *علوم سبزی‌ها*، ۱۷(۱)، ۱۷۹-۲۰۰.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی (*Capsicum annum* L.) متعلق به خانواده *Solanacea* است. فلفل یکی از پر طرفدارترین و مهم‌ترین گیاهان زراعی بوده و دارای ویژگی‌های مهمی همچون عطر، طعم و رنگ است (Mwando *et al*., 2022, Sood *et al*., 2023). این محصول به طور گسترده‌ای در محصولات غذایی، به عنوان ادویه ودر کاربردهای متنوع دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xu *et al.,* 2023). عناصر مختلفی در ساختار گیاه وجود دارند که تنها تعداد محدودی از آن‌ها برای گیاه ضروری تشخیص داده شده است (Amerian *et al*., 2023, Haghighi & Najafi, 2020). ممکن است در ساختار گیاه و یا برخی فرآیندهای سوخت‌سازی آن عناصر ضروری، مورد نیاز باشند. به‌طوری که کمبود آن سبب بروز نارسایی‌هایی در گیاه می‌گردد که اغلب روی اندام‌های مختلف و یا کل گیاه به صورت علائمی قابل مشاهده می‌باشد (Mardi *et al*., 2022). اخیراً برای بهبود وضعیت گیاه، از محرک‌های زیستی طبیعی استفاده می‌شود (Paradikovic *et al.,* 2011; Mahmood *et al.,* 2017). کوددهی برگی به گیاهان کمک می‌کند تا باروری پایین خاک، محدودیت‌های جذب مواد مغذی و تثبیت مواد مغذی را جبران کنند (Dada & Ogunsesu., 2016). کودهای آلی- معدنی رایج مورد استفاده در کوددهی گیاهان، مواد هومیک هستند که حاوی اسید هومیک می‌باشند (Manas *et al.,* 2014). بیش از سه میلیون هکتار از اراضی جهان سالانه زیر کشت انواع فلفل قرار می‌گیرد. این محصول با تولید جهانی ۳۲۳۲۴۳۴۵ تن، بومی مکزیک و آمریکا است (Cruz *et al.,* 2005). از سوی FAO کشور ویتنام و پس از آن، اندونزی و هند بزرگترین تولید کنندگان فلفل دلمه‌ای می‌باشند و ایران جایگاهی در تولید این محصول بین سایر کشورهای تولید کننده جهان ندارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۸۸ درصد از سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای به خیار، هشت درصد به گوجه‌فرنگی و چهار درصد به فلفل اختصاص دارد (Sajadi *et al.,* 2017). فلفل سبز یک محصول مهم کشاورزی است که نه تنها به خاطر ارزش اقتصادی بلکه به خاطر ارزش میوه‌های آن و همچنین منبع عالی رنگ‌های طبیعی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Heydari *et al*., 2006).

مواد هومیکی ترکیبات سازگار و ایمن برای محیط‌زیست می‌باشند. این ترکیبات با کمک به انحلال و آزادسازی عناصر کم‌مصرف و پر مصرف و در نتیجه کاهش محسوس نیاز به کودهای شیمیایی، به دلیل pH اسیدی به اصلاح خاک‌های قلیایی کمک می‌نمایند (Rostami *et al*., 2019). هم‌چنین این ماده در حفظ توازن خاک، کاهش سمیت کودها و عناصر اضافی موجود در خاک، باقی ماندن اثر آن تا چند سال در خاک، سبک نمودن بافت خاک، بهبود ریشه‌زایی، نگه‌داری بیش‌تر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی از جمله کم‌آبی نقش موثری دارند (Garcia *et al*., 2012). کاربرد اسید هومیک در گیاهان مختلف سبب کاهش اثرات شوری و خشکی در گیاه شده است (Bacilio *et al*., 2016). همچنین بر تعدادی از فرآیندها در گیاهان مانند، فعالیت آنزیم، متابولیسم پروتئین، فتوسنتز، تنفس، برداشت آب و مواد مغذی، شار هورمونی، نفوذپذیری غشای سلولی و گونه‌های اکسیژن فعال تاثیرگذار است (Calvo Velez *et al*., 2014). مواد آلی از جمله اسید هومیک به علت ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و به وسیله‌ی راه‌های متعددی مانند

بهبود خصوصیات کیفی خاک، سبب رشد و عملکرد بهتر گیاهان می‌شود. در میان آن‌ها اسید هومیک یک ماده آلی طبیعی که غنی از گروه‌های کربوکسیل، هیدروکسیل و آمینو است (Sun *et al.*, 2016). مواد هومیکی بیش از ۸۵ درصد مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهد و این نسبت در خاک‌های مختلف متفاوت است (Ukalska-Jaruga *et al.*, 2021). Ali و همکاران (۲۰۱۹) اثر کاربرد مواد هومیک و سطوح مختلف آبیاری (۱۰۰٪، ۸۰ و ۶۰٪ تبخیر و تعرق استاندارد (ET_c)) را بر کارایی مصرف آب (WUE) در کشت سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که بالاترین راندمان مصرف آب در حضور مواد هومیک و تیمارهای ۶۰ درصد ETc مشاهده شد. Ben-gal و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تاثیر تنش‌های کم‌آبیاری (سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بر عملکرد فلفل دلمه گلخانه‌ای نشان دادند که عملکرد، تعداد شاخه هر بوته و تعداد میوه با کم شدن مقدار آب آبیاری کاهش یافته است.

تنش آبی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاهان محسوب می‌شود که کاهش زیست‌توده و عملکرد را در پی خواهد داشت (Ihuoma & Madramootoo., 2017). از این‌رو، وقوع تنش آبی در طی دوره رشد، امری اجتناب‌ناپذیر است. روابط آبی، تمام فرایندهای فیزیولوژیک را که با حلالیت و قابل دسترس بودن عناصرغذایی ارتباط دارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Alam, 1999). کاهش وزن تر و خشک اندام‌های گیاه تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش قابل توجه در فتوسنتز و تورژسانس سلولی باشد (Sankar *et al.*, 2007). نتایج در تحقیقی بر روی گیاه فلفل نشان داد که کاهش میزان آب آبیاری در آبیاری قطره‌ای، منجر به کاهش عملکرد در واحد سطح، وزن متوسط میوه و تعداد میوه برداشت شده در فصل رشد شده است (Colak *et al.*, 2017). Tabatabaei و همکاران (۲۰۱۴) با تحقیق بر روی گیاه فلفل نشان دادند که با کاهش مصرف آب وزن تر و خشک میوه و تعداد میوه کاهش یافت. هم‌چنین این محققین نشان دادند که با کاهش مقدار آب آبیاری به ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب به ترتیب ۵۰، ۶۹ و ۹۲ درصد و ۲۲، ۲۴ و ۲۹ درصد کاهش نشان داد. با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک، و بحران کمبود آب در کشور، اعمال مدیریت آبیاری به‌منظور استفاده بهینه از واحد آب برای تولیدات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر مقدار جذب عناصر غذایی با رژیم‌های مختلف آبیاری تغییر می‌کند و از آنجا که قابلیت دسترسی به آب از عوامل کلیدی تأثیرگذار در تولیدات گیاهان می‌باشد، این تغییرات به طور مستقیم رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر کمّیت و کیفیت گیاهان نیز مؤثر می‌باشد. بر این اساس این پژوهش به منظور بررسی اثر اسید هومیک بر کارایی مصرف آب، عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه فلفل دلمه‌ای تحت سطوح مختلف آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات طرح آزمایشی

پژوهش حاضر با چهار تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بجنورد به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر گیاه فلفل دلمه‌ای اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح آبیاری در چهار سطح شامل (L_{60})، (L_{80})، (L_{100}) و (L_{120}) (به ترتیب۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد آبیاری کامل (L_{100}) بر اساس تخلیه رطوبتی خاک) و تیمار اسید

هومیک در سه سطح صفر (H_0)، ۲۰ (H_{20}) و ۴۰ (H_{40}) گرم بر گلدان بودند.

ویژگی‌های خاک مورد استفاده

خاک نمونه برداری شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مرسوم آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، pH گل اشباع توسط pH متر و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) با هدایت‌سنج تعیین شد (Thomas, 1996). کربن آلی به روش والکی و بلاک (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال (Brennan *et al*., 1993)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Olsen *et al*., 1954) و پتاسیم قابل جذب به روش آمونیوم استات با دستگاه شعله‌سنج (Nelson & Sumner, 1996) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های اولیه خاک در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی نمونه‌ی خاک

Table 1- Physico-chemical characteristics of soil sample

بافت خاک Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m^{-1})	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)
Cl	7.12	2.48	1.063	0.048	7.35	215	4.60	0.36

شرایط گلخانه برای اجرای طرح پژوهشی

گلخانه‌ی محل اجرای طرح از نوع مکانیزه به صورت دو طرفه و با چهار چوبی متشکل از ستون‌های آهنی به ارتفاع ۷ متر ساخته شده بود. طول و عرض تقریبی گلخانه به ترتیب ۲۸ و ۱۳ متر و پوشش شفاف گلخانه از جنس پلی کربنات بود. میانگین دمای روزانه گلخانه ۳۰-۱۸ درجه‌ی سلسیوس و رطوبت ۸۰-۷۰ درصد بود.

آماده‌سازی بستر کشت

با توجه به عمق و حجم ریشه گیاه مورد نظر، گلدان‌های پلاستیکی (به ارتفاع ۲۴، قطر دهانه ۲۳/۵ سانتی‌متر و ظرفیت تقریبی ۱۰ کیلوگرم) تهیه شد. کف گلدان‌ها با لایه‌ای از شن درشت به عنوان زهکش پر شد. نمونه‌های خاک بعد از هوا خشک شدن در گلخانه، کوبیده و از الک چهار میلی‌متری، عبور داده شدند و در نهایت خاک پس از توزین به داخل گلدان‌ها انتقال داده شد.

کاشت، داشت و برداشت

جهت آماده‌سازی گلدان‌ها، ابتدا خاک از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد و در مقادیر ۱۰ کیلوگرمی جهت استفاده در گلدان‌ها توزین شد. پس از این مرحله، مقادیر اسید هومیک مطابق تیمارهای آزمایشی به خاک‌های توزین شده اضافه گردید. پس از اختلاط خاک و اسید هومیک، گلدان‌ها به صورت کامل اشباع شدند و پس از متوقف شدن خروج آب ثقلی، وزن گلدان در این حالت به عنوان وزن در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد (Pourmansour *et al*., 2019). پس از این مرحله، نشاءهای آماده شده فلفل دلمه‌ای رقم کالیفرنیا واندر که بذر آن از شرکت مبین کشت تهیه شده بود، به گلدان‌های اصلی ۱۰ کیلوگرمی با رطوبت در حد ظرفیت زراعی منتقل شدند. در هر گلدان نشاء فلفل دلمه‌ای با طول اندام هوایی ۹ سانتی‌متر در تاریخ ۱۴۰۰/۷/۱۷ کاشته شد. با توجه به تولید مستمر

ساقه و برگ جدید و رشد نامحدود گیاه فلفل دلمه‌ای، جهت ایجاد تعادل و افزایش تولید، تقریبا هر دو هفته هرس انجام شد. هم‌چنین طی دوره رشد گیاه، عملیات وجین علف‌های هرز بعد از اولین آبیاری تا مرحله برداشت به صورت دستی انجام گردید. در نهایت پس از طی ۸۰ روز از دوره رشد گیاه فلفل دلمه‌ای، میوه رسیده فلفل دلمه‌ای در تاریخ ۱۰/۷ /۱۴۰۰ برداشت شد. شکل (۱) رشد گیاه فلفل دلمه‌ای در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه را نشان می‌دهد.

شکل ۱- گیاه فلفل دلمه‌ای در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و دو گرم بر گلدان اسید هومیک

Figure 1- Bell pepper in treatment with 100% water requirement and 2 grams per pot of humic acid

نحوه اعمال تیمارهای سطوح آبیاری

آبیاری تمام گلدان‌ها بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی و هر ۳ روز یک مرتبه با آب با هدایت الکتریکی کمتر از ۱ دسی زیمنس بر متر انجام شد. پس از استقرار کامل گیاهان، در تاریخ ۱۴۰۰/۸/۷ سطوح آبیاری اعمال گردید و تا پایان دوره رشد به مدت ۸۰ روز ادامه یافت. بدین صورت که (L_{100}) به عنوان تیمار دریافت کننده آبیاری کامل (رساندن کمبود رطوبت خاک تا ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد و مقدار آب آبیاری در سایر تیمارها به عنوان درصدی از مقدار آب آبیاری کامل در نظر گرفته شد و مقدار آب مورد نیاز در تیمارهای آبیاری (L_{60}، L_{80}، L_{100}، L_{120}) به ترتیب با اعمال ضرایب ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲ در مقدار آب مورد نیاز آبیاری کامل (L_{100}) به دست آمد و به گلدان‌ها اضافه گردید.

نمونه‌برداری از گیاه

جهت بررسی اثرات سطوح مختلف اسید هومیک و آبیاری بر گیاه فلفل دلمه‌ای، نمونه‌برداری از گیاه در پایان دوره رشد صورت پذیرفت. در زمان برداشت فلفل دلمه‌ای، ریشه از محل طوقه جدا و به همراه اندام هوایی گیاه با آب مقطر شسته شدند و هر کدام جداگانه وزن و به داخل پاکت کاغذی منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آون قرار گرفتند. وزن تر و خشک گیاه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، طول ریشه و ارتفاع گیاه توسط خط‌کش اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت گیاه، عملکرد میوه فلفل دلمه‌ای از حاصل ضرب تعداد میوه در بوته به وزن میوه محاسبه شد. مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید از روش لیختن تالر (Lichtenthaler, 1987)، هدایت روزنه‌ای گیاه توسط دستگاه پرومتر، فسفر گیاه به روش آمونیوم

مولیبدات وانادات (Chapman & Pratt, 1961)، پتاسیم توسط شعله‌سنج (Emami, 1996) و نیتروژن به روش کجلدال (Chapman & Pratt, 1961) اندازه‌گیری شدند.

کارایی مصرف آب در گیاه (WUE)

کارایی مصرف آب عبارتند از مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی به وسیله‌ی گیاه که با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد.

$$WUE=\frac{D}{W} \qquad (1)$$

در این رابطه WUE، کارایی مصرف آب کیلوگرم بر متر مکعب، W، مقدار آب مصرف شده توسط گیاه (متر مکعب) و D جرم ماده خشک (کیلوگرم) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

کارایی مصرف آب (WUE)

با توجه به نتایج، با افزایش کاربرد اسید هومیک، عملکرد فلفل دلمه‌ای افزایش (شکل ۲ الف) و آب مصرفی (WU) کاهش یافت (شکل ۲ ب) و در پی آن WUE افزایش یافت (شکل ۲ ج). بیش‌ترین مقدار مصرف آب (۷۱۳۶/۸۰ متر مکعب در هکتار) در $L_{120}HA_0$ مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین مقدار عملکرد (۱۴/۲۱ گرم در بوته) و مصرف آب (۳۵۸۴/۶۱ مترمکعب در هکتار) به ترتیب در $L_{60}HA_0$ و $L_{60}HA_{40}$ مشاهده شد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که حداکثر مقدار WUE (۷/۴۵ کیلوگرم مترمکعب) در $L_{80}HA_{40}$ و کم‌ترین مقدار WUE(۰/۸ کیلوگرم مترمکعب) در $L_{60}HA_0$ به دست آمد (شکل ۲ ج). این نتایج را می‌توان به نسبت عملکرد به مصرف آب مرتبط دانست، به‌طوری که با افزایش مصرف آب، عملکرد افزایش یافت، اما مقدار افزایش عملکرد کمتر از مقدار افزایش مصرف آب بود. با توجه به نتایج، عملکرد گیاه در تیمارهای L_{80}، L_{100} و L_{120} مشابه است (شکل ۲ الف). فلفل دلمه‌ای می‌تواند با مکانیسم‌های گیاهی (از جمله بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق)، WUE را افزایش دهد و سپس در شرایط کاهش رطوبت تا حدودی عملکرد را افزایش دهد (Zikki *et al*., 2020).

Zikki و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه اثر تنش خشکی بر کشت فلفل دلمه‌ای گزارش نمودند که فلفل دلمه‌ای تحت تنش خشکی با به حداکثر رساندن عملکرد، WUE را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، استفاده از مواد آلی در خاک یک استراتژی مهم در افزایش کیفیت عملکرد و WUE است. وجود مواد اسید هومیک با افزایش فعالیت آنزیم‌ها و آنتی اکسیدان‌ها در بهبود عملکرد روزنه‌ها نقش داشته و در شرایط تنش خشکی با بسته شدن روزنه به حفظ آب در گیاه کمک می‌کند (Aguiar *et al*., 2016). اسید هومیک به عنوان ماده آلی خاک می‌تواند در تغییر خواص هیدرولیکی خاک، بهبود خاکدانه‌سازی، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب و WUE مؤثر باشد (Qin & Leskovar, 2020). در این راستا Alenazi و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که ترکیب اسید هومیک و اسید فولیک (FA)، علاوه بر بهبود عملکرد سیب‌زمینی، WUE را افزایش داد. همچنین، Qin و Leskovar (۲۰۱۸) با بررسی تأثیر اسید هومیک و سطوح آبیاری (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کشت فلفل دلمه‌ای گزارش کردند که اسید هومیک باعث کاهش هدایت روزنه‌ای برگ و تعرق در شدت آبیاری کم (۲۰ درصد و ۴۰ درصد) گردید و با کاهش از دست دادن رطوبت خاک به رشد فلفل دلمه‌ای کمک کرد.

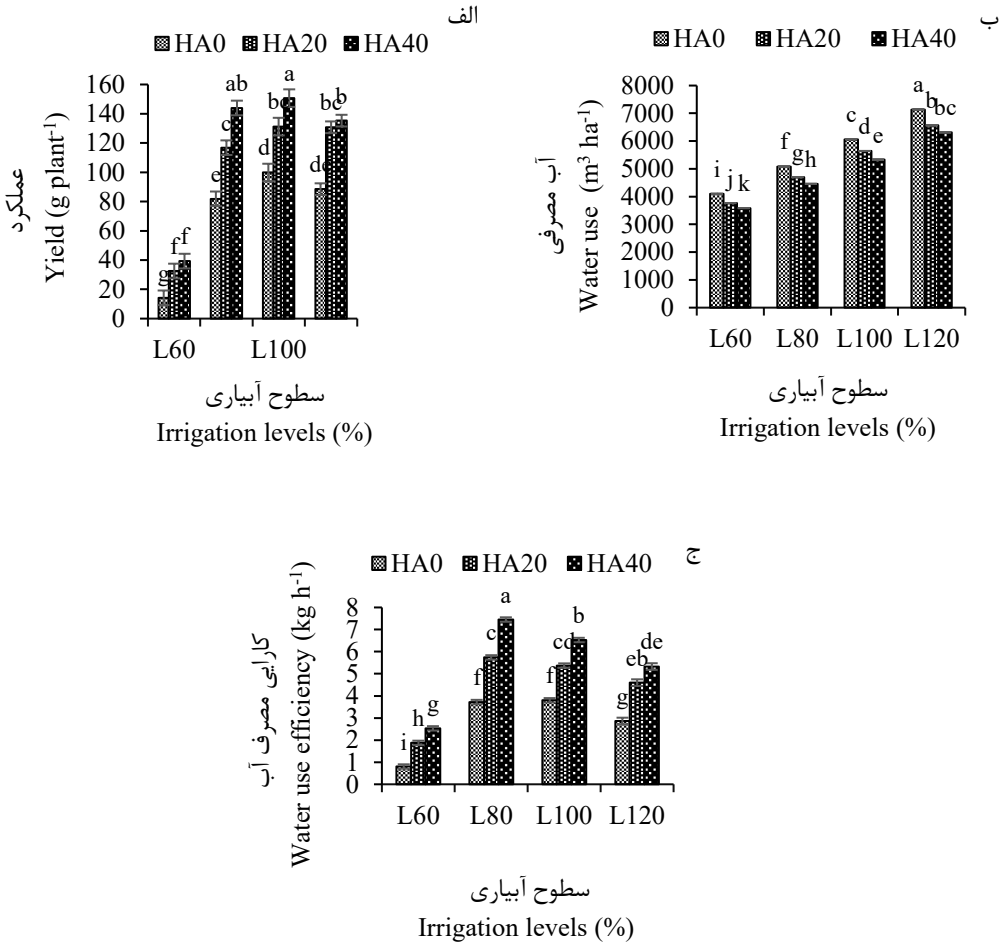
Ali و همکاران (۲۰۱۹) اثر کاربرد اسید هومیک و سطوح مختلف آبیاری (٪۶۰، ٪۸۰ و ٪۱۰۰ تبخیر و تعرق استاندارد (ET_c)) را بر کارایی مصرف آب (WUE) در کشت سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌هاگزارش کردند که بالاترین راندمان مصرف آب در حضور مواد هومیک (HA) و تیمارهای ۶۰ درصد تبخیر و تعرق استاندارد مشاهده شد. El-Hashash و همکاران (۲۰۲۲) از اسید هومیک (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی در کشت گندم استفاده کردند و بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف انرژی و عملکرد گیاه را در HA_{60} عنوان کردند. Qin و Leskovar (۲۰۲۰) اثر کم‌آبیاری و استفاده از اسید هومیک را در کشت هندوانه مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به نتایج به دست آمده، کاهش ۲۵ تا ۵۰ درصدی مقدار آبیاری منجر به کاهش جزئی (۸-۱۵ درصد) در عملکرد محصول شد و در نتیجه کارایی مصرف آب بالاتر به دست آمد.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی فلفل دلمه‌ای

میانگین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ گیاه با افزایش مقدار اسید هومیک مصرفی و سطوح آبیاری به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۳ الف، ب، ج و د). بیش‌ترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ در تیمار $HA_{40}L_{120}$ مشاهده شد که نسبت به تیمار HA_0L_{120} به‌ترتیب ۲۶/۸، ۷۲/۰، ۳۳/۶ و ۵۹/۶ درصد بیش‌تر بودند. این مقادیر در تیمار $HA_{40}L_{120}$ نسبت به $HA_{20}L_{120}$ به ترتیب ۱۳/۱، ۱۲/۷، ۱۵/۵ و ۱۲/۰ درصد افزایش نشان دادند. مطالعات گذشته نشان داده است که محتویات کلروفیل و ویژگی‌های تبادل گاز تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد (Danish *et al.*, 2021). در این راستا، El-Sayed و همکاران (۲۰۱۹) با کاربرد اسید هومیک با دورهای مختلف آبیاری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز نشان دادند که بیش‌ترین فتوسنتز گیاه و کلروفیل فلفل دلمه‌ای با مصرف اسید هومیک با دور آبیاری ۱۵ روز یک‌بار بود. آن‌ها گزارش نمودند که رطوبت کم‌تر سبب کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌گردد. Ghanbari و همکاران (۲۰۲۱) نیز در پژوهش خود بیان کردند که افزایش دور آبیاری در گیاه فلفل دلمه‌ای موجب کاهش کلروفیل شد و محتوای پرولین، مالون دی آلدهید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد.

Shokhmgar و همکاران (۲۰۲۳) مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ارزن در شرایط تنش خشکی انجام دادند در پژوهش آن‌ها، تیمارهای آبیاری شامل (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل شاهد، محلول‌پاشی پوترسین به مقدار ۸۸/۱۵ میلی‌گرم در لیتر، اسید هومیک ۱/۵ کیلوگرم در هکتار، سالیسیلیک اسید ۱۳۸/۱۲ میلی‌گرم در لیتر و متانول ۲۵ درصد حجمی بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل a+b و کاروتنوئید به میزان ۵۸/۴، ۲۳/۵، ۱۹/۲، ۳۸/۷، ۲۴/۵ و ۱۹ درصد و افزایش معنی‌داری در تجمع پرولین و کربوهیدرات گردید. با کاربرد اسید هومیک در خاک دسترسی ریشه گیاه به مواد غذایی از جمله نیتروژن افزایش می‌یابد که این امر به بهبود محتوای کلروفیل گیاه کمک می‌کند. El-Bassioung و همکاران (۲۰۱۴) نقش فیزیولوژیکی اسید هومیک در بهبود رشد، عملکرد و مواد مغذی گندم را بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از اسید هومیک و نیمی از مقدار توصیه شده از کود نیتروژن برای گندم، منجر به افزایش قابل توجهی در مقدار کل مواد جامد

محلول و کربوهیدرات‌ها می‌شود. افزایش در کربوهیدرات کل به دلیل افزایش کارایی فتوسنتز در پاسخ به تیمار با اسید هومیک است (El-Bassioung *et al*., 2014) مطالعات مختلف نتایج پژوهش حاضر را تأیید کردند.



شکل ۲- اثر سطوح آبیاری و اسید هومیک بر عملکرد (الف)، آب مصرفی (ب) و کارایی مصرف آب (ج) در گیاه فلفل دلمه‌ای (*Caspicum annuum* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

L_{60}، L_{80}، L_{100} و L_{120} سطوح آبیاری به ترتیب ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و HA_0، HA_2 و HA_4 به ترتیب سطوح صفر (شاهد)، ۲ و ۴ گرم اسید هومیک در هر کیلوگرم خاک هستند.

Figure 2- The effect of irrigation levels and humic acid on yield (A), water use (B), and water use efficiency (C) in bell pepper (*Capsicum annuum L*). Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on the Duncan multiple range test. L_{60} ,L_{80} ,L_{100}, and L_{120} are irrigation levels 60, 80, 100, and 120 percent of soil moisture depletion, respectively, and HA_0 ,HA_2, and HA_4 are levels 0 (control), 2, and 4gr acid humic per kg soil.

Shaabani و همکاران (۲۰۲۲) آزمایشی به منظور بررسی اثر ورمی‌کمپوست و اسید هومیک بر برخی از صفات گل همیشه بهار انجام دادند. تیمارها شامل ورمی‌کمپوست (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) و محلول پاشی اسید هومیک (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در چهار سطح بود. نتایج نشان داد که استفاده از اسید هومیک بر تمامی صفات فیزیولوژیکی شامل کاروتنوئید گلبرگ، کلروفیل a،

کلروفیل b، کلروفیل کل، فلاونوئیدهای گلبرگ و نشت یون برگ و گل و محتوای نسبی آب تحت تأثیر تیمار اسید هومیک اثر افزایشی داشت. در نهایت، آن‌ها استفاده از اسید هومیک در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست را توصیه نمودند. نتایج مطالعات El-Sayed و همکاران (۲۰۱۹) بر روی گیاه فلفل دلمه‌ای نشان داد که کاربرد اسید هومیک باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ فلفل دلمه و ویتامین ث، کل مواد جامد محلول و اسیدیته میوه فلفل دلمه‌ای شد. با افزایش سطوح آبیاری و کاربرد اسید هومیک هدایت روزنه‌ای افزایش یافت (شکل ۳ ر). هدایت روزنه‌ای برگ گیاه در تیمار $HA_{40}L_{120}$ نسبت به مقدار آن در تیماهای HA_0L_{120} و $HA_{20}L_{120}$ به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود. نتایج نشان داد که هدایت روزنه‌ای برگ گیاه در تیمار $HA_{40}L_{120}$ نسبت به HA_0L_{120} و $HA_{20}L_{120}$ به‌ترتیب ۲۳/۳ و ۸/۹ درصد بیش‌تر بود. کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تنش خشکی را می‌توان به مکانیزم گیاهی در برابر کمبود رطوبت خاک نسبت داد. به نظر می‌رسد در شرایط کمبود رطوبتی، بسته شدن روزنه‌های برگ به سرعت اتفاق می‌افتد و با کاهش هدایت روزنه‌ای، از شدت تعرق به مقدار قابل توجهی کاسته می‌شود و گیاه با تنظیم روزنه‌ها از شدت کمبود آب می‌کاهد (Safarzade shirazi *et al.*, 2019).

Moosavi (۲۰۱۹) گزارش کرد که آبیاری گیاه در فواصل ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، به ترتیب سبب کاهش هدایت روزنه‌ای به مقدار ۴۴/۲ و ۶۰/۹ درصد گردید. همچنین Aghlmandو همکاران (۲۰۱۶) بیان نمودند که تأخیر در آبیاری از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، سبب کاهش به ترتیب ۲۵/۵ و ۴۷/۹ درصد در هدایت روزنه‌ای ریحان گردید. پژوهش‌ها نشان داده است که اسید هومیک سبب افزایش مقاومت به کم‌آبی می‌گردد. اسید هومیک با ویژگی کلات‌کنندگی قوی عناصر غذایی و به‌طور کلی قرار دادن آب و مواد غذایی بیش‌تر برای گیاه، سبب افزایش هدایت روزنه‌ای می‌گردد (Salehi *et al.*, 2010). مطالعه‌ای توسط Moosavi (۲۰۱۹) بر تأثیر تنش کم‌آبی، متانول و اسید هومیک بر کشت کاسنی انجام شد و نتایج آن‌ها نشان داد که با کاربرد اسید هومیک و به دنبال آن افزایش جذب آب و مواد غذایی، رطوبت نسبی و هدایت روزنه‌ای برگ کاسنی به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. آن‌ها دلیل آن را کاهش غلظت هورمون آبسیزیک اسید در سلول‌های محافظ روزنه به دنبال جذب آب بالاتر گیاه پس از مصرف اسید هومیک دانستند.

ویژگی‌های مورفولوژیکی فلفل دلمه‌ای

مطابق نتایج مقدار وزن تر اندام هوایی در $L_{100}HA_{40}$ نسبت به تیمارهای $L_{100}HA_0$ و $L_{100}HA_{20}$ به ترتیب ۱۴/۹ درصد و ۲۵/۰ درصد افزایش داشت (جدول ۲). این مقادیر برای وزن تر ریشه به ترتیب ۱۸/۹ درصد و ۶/۰ درصد بود. همچنین در مورد طول ریشه، بیش‌ترین مقدار در تیمار $L_{60}HA_{40}$ مشاهده شد که نسبت به تیمارهای $L_{60}HA_{40}$ و $L_{60}HA_{40}$ به ترتیب ۱۲/۴ درصد و ۳/۳۵ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که کاربرد اسید هومیک با کاهش اثرات منفی تنش خشکی در رشد گیاه فلفل دلمه‌ای سبب افزایش وزن اندام هوایی و ارتفاع گیاه نسبت به تیمارهای تحت تنش خشکی در عدم حضور اسید هومیک شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاهش رطوبت و وجود تنش در خاک بر وزن اندام هوایی و ارتفاع گیاه تأثیرگذار می‌باشد. اسید هومیک با افزایش قابلیت نگه‌داری آب در خاک باعث تعدیل شرایط

تنش رطوبتی در خاک شده و ارتفاع گیاه و وزن اندام هوایی در شرایط تنش را افزایش داده است گزارش شده است که کاهش رطوبت خاک، سبب تنش رطوبتی گیاه گردیده و در نهایت آماس و رشد سلولی کاهش می‌یابد (Safarzade shirazi *et al.*, 2019) که این ویژگی می‌تواند سبب کاهش وزن اندام‌های گیاه گردد. همچنین احتمالاً دلیل بیش‌تر بودن طول ریشه گیاه در شرایط کمبود رطوبت (L_{60})، تلاش گیاه جهت یافتن آب و مواد غذایی در خاک باشد که سبب افزایش طول ریشه گردیده است.

در شرایط تنش رطوبتی، انباشت کربوهیدرات‌ها در گیاه کاهش یافته و روزنه‌های برگ بسته می‌شود و به دنبال آن وزن تر و خشک گیاه و به‌طور کلی عملکرد کاهش می‌یابد (Safarzade shirazi *et al.*, 2019). ارتفاع گیاه در تیمار $L_{120}HA_{40}$ حداکثر مقدار بود که با تیمار $L_{100}HA_{40}$ اختلاف معنی‌داری نداشت. ارتفاع گیاه در $L_{100}HA_{40}$ نسبت به $L_{100}HA_0$ و $L_{60}HA_{40}$ به ترتیب ۲۰/۲ درصد و ۱۰۰/۰ درصد افزایش نشان داد. در سطوح آبیاری بالاتر، گیاه با جذب عناصر غذایی بیش‌تر و بهبود عملکرد ماده خشک سبب افزایش ارتفاع گیاه گردید. این نتایج مطابق مطالعات (Zeeshan *et al.*, 2020; Dad *et al.*, 2021) می‌باشد. Danish و همکاران (۲۰۲۰) نیزگزارش کردند که کشت ذرت در تنش رطوبتی با کاهش جذب عناصر غذایی و ویژگی‌های رشدی گیاه همراه بود. همچنین گزارش شده است که با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش رطوبتی در گیاه، آماس و رشد سلولی کاهش می‌یابد (Safarzade shirazi *et al*,.2019) که این ویژگی می‌تواند سبب کاهش وزن اندام‌های گیاه گردد.

Danish و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که کشت ذرت در شرایط کمبود رطوبت با کاهش جذب عناصر غذایی و ویژگی‌های رشدی گیاه همراه بود. همچنین Safarzade shirazi و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند که در شرایط تنش رطوبتی، میزان ذخیره کربوهیدرات در گیاه کاهش می‌یابد، روزنه‌های برگ بسته شده و کاهش رشد گیاه و عملکرد ماده خشک گیاه اتفاق می‌افتد. Asri و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که اثر تحریک‌کننده اسید هومیک بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی به‌دلیل افزایش جذب مواد مغذی (مانند N، P، Fe و Cu) و افزایش دسترسی به دیگر عناصر غذایی کم‌نیاز و پرنیاز می‌باشد که سبب افزایش وزن تر و خشک برگ و افزایش عملکرد می‌گردد (Eshghi & Garazhian, 2015; Souri *et al.*, 2017). همچنین، Ibrahim و همکاران (۲۰۱۹) اثر اسید هومیک و سالیسیلیک اسید بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه سه رقم فلفل قرمز را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از اسید هومیک یا سالیسیلیک اسید در مقادیر صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر به‌صورت محلول پاشی برگ استفاده نمودند. محلول پاشی اسید هومیک یا سالیسیلیک اسید به‌طور معنی‌داری رشد رویشی، عملکرد میوه و کیفیت سه رقم را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد. با کاربرد اسید هومیک و سالیسیلیک اسید، سطح برگ، طول ساقه و اجزای عملکرد میوه، مانند تعداد میوه، قطر و وزن تر و خشک، همچنین صفات کیفیت میوه، مانند محتوای ویتامین ث، محتوای جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون، و محتوای قند کل، نسبت به گیاهان در تمام تیمارهای دیگر. با این حال، درمان با سالیسیلیک اسید مؤثرتر از درمان با اسید هومیک بود. Qin و Leskovar (۲۰۲۰) با مطالعه اثر بخشی تیمارهای اسید هومیک بر رشد برخی سبزی‌ها (فلفل، گوجه فرنگی، هندوانه و کاهو) در شرایط تنش آبی گزارش کردند که اسید هومیک به وضوح سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی،

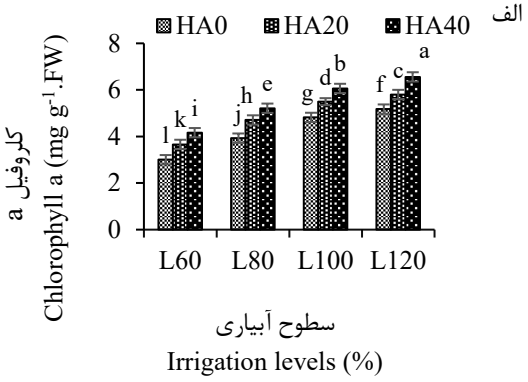
وزن‌خشک ریشه، طول ریشه، سطح ریشه و عملکرد گیاه گردید. Jan و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه اثر بخشی سطوح مختلف اسید هومیک (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ گرم در لیتر) در کشت فلفل قرمز گزارش نمودند که با افزایش کاربرد اسید هومیک، ویژگی‌های رشدی گیاه از جمله ارتفاع گیاه، تعداد برگ، قطر ساقه، وزن و تعداد میوه، حجم و قطر میوه به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت.

نیتروژن، پتاسیم و فسفر در میوه

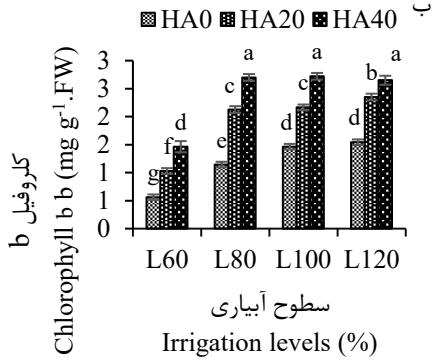
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح آبیاری و اسید هومیک مصرفی، غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در میوه فلفل دلمه‌ای افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۴). به‌طوری که در بین تیمارهای آبیاری، بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار L_{120} مشاهده گردید که نسبت به تیمار L_{60} به‌ترتیب ۳۱/۳، ۱۶/۰ و ۱۱/۶ درصد بیش‌تر بودند. با این وجود در مورد نیتروژن میوه، بین تیمارهای L_{120}، L_{100} و L_{80} اختلاف معنی‌داری دیده نشد. در مطالعه‌ی حاضر، غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در میوه فلفل دلمه‌ای در سطوح آبیاری بالا به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر بود (شکل ۴ الف، ج و ر). این نتایج را می‌توان به تحرک بیش‌تر این عناصر در خاک در شرایط آبیاری مناسب و جذب آن‌ها توسط گیاه نسبت داد. در حالی‌که جابه‌جایی عناصر در شرایط دسترسی محدود به آب کاهش می‌یابد (Danish *et al.*, 2020). همچنین مطابق نتایج (شکل ۴ ب، د و ز)، غلظت عناصر غذایی در تیمارهای HA_{20} و HA_{40} نسبت به HA_0 به ترتیب ۳۸/۷ و ۵۰/۳ درصد برای نیتروژن ۱۳/۰ و ۳۴/۸ درصد، برای فسفر و ۱/۵ و ۱۴/۵ درصد و برای پتاسیم افزایش نشان داد. کودهای مبتنی بر اسید هومیک با تأثیر مستقیم بر رشد بهتر گیاه که منعکس کننده افزایش عملکرد ماده خشک و بهبود در تغییرات فیزیولوژیکی در گیاهان است، کارایی مصرف مواد مغذی را در گیاه بهبود می‌بخشند (Selladurai & Purakayastha, 2016).

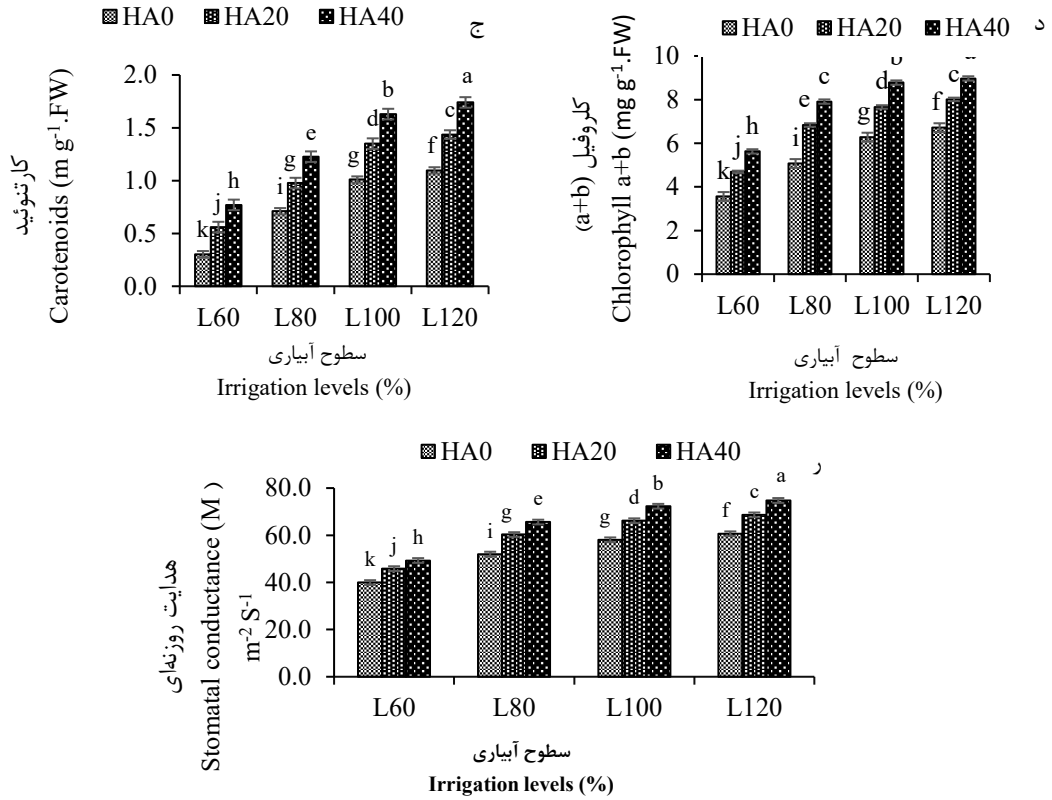
نتایج پژوهش حاضر با مطالعات (Saif El-Deent *et al.*, 2011) هم‌خوانی دارد. آن‌ها بیان نمودند که کاربرد اسید هومیک همراه با کود NPK در کشت سیب‌زمینی، به‌صورت مؤثری عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بافت گیاه را افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر، El-Sayed و همکاران (۲۰۱۹) جذب عناصر غذایی و رشد گیاه فلفل دلمه‌ای را پس از کاربرد تیمارهای مختلف اسید هومیک (۲ و ۳ کیلوگرم در هر کرت ۱۰/۵ مترمربع) و تیمارهای آبیاری (آبیاری بوته‌های فلفل دلمه‌ای هر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز یک‌بار) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها اثر مطلوب اسید هومیک در رشد میوه فلفل دلمه‌ای مشاهده نمودند و بیان کردند که این نتایج احتمالاً به دلیل افزایش اثرات اسید هومیک در تأمین مقدار بالایی از مواد غذایی ضروری، ویتامین‌ها و عناصر کم‌نیاز ضروری گیاه و خاک برای بهبود رشد، نمو، ترکیبات شیمیایی و گیاه باشد. بهترین تیمار از نظر دسترسی عناصر غذایی خاک و رشد گیاه تیمار کاربرد ۳ کیلوگرم اسید هومیک و فاصله آبیاری هر ۱۵ روز یک‌بار بود. به گزارش آن‌ها، در آبیاری‌های با فاصله بیش از ۱۵ روز، به‌دلیل تنش خشکی و رطوبت کم خاک، جذب عناصر غذایی گیاه کاهش و به دنبال آن رشد گیاه کم می‌شود. همچنین، Mindari و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه اثر بخشی اسید هومیک در افزایش رشد برنج گزارش نمودند که کاربرد اسید هومیک سبب افزایش وزن اندام‌های گیاهی، کلسیم و فسفر گیاه شد. افزودن اسید هومیک می‌تواند سدیم و کلسیم اضافی را کنترل کند و اثرات سمی و اسمزی را کاهش داده و باعث کاهش pH و EC خاک و افزایش دسترسی به مواد مغذی برای گیاه شود.

الف


HA0
HA20
HA40
کلروفیل a
Chlorophyll a (mg g-1.FW)
L60
L80
L100
L120
سطوح آبیاری
Irrigation levels (%)

ب


HA0
HA20
HA40
کلروفیل b
Chlorophyll b b (mg g-1.FW)
L60
L80
L100
L120
سطوح آبیاری
Irrigation levels (%)



شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و اسید هومیک بر کلروفیل a (الف)،کلروفیل b (ب)، کلروفیل a+b (ج)، کاروتنوئید (د) و هدایت روزنه‌ای (ر) در گیاه فلفل دلمه‌ای (*Caspicum annuum* L.).ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند. L_{60}، L_{80}، L_{100} و L_{120} سطوح آبیاری به ترتیب ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و HA_0، HA_2 و HA_4 به ترتیب سطوح صفر (شاهد)، ۲ و ۴ گرم اسید هومیک در هر کیلوگرم خاک هستند.

Figure 3- The effect of irrigation levels and humic acid on chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), chlorophyll a+b (C), carotenoids (D), and Stomatal conductance (E) in bell pepper (*Capsicum annuum L*). Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on the Duncan multiple range test. L_{60} ،L_{80} ،L_{100}, and L_{120} are irrigation levels 60, 80, 100, and 120 percent of soil moisture depletion, respectively, and HA_0 ،HA_2, and HA_4 are levels 0 (control), 2, and 4gr acid humic per kg soil

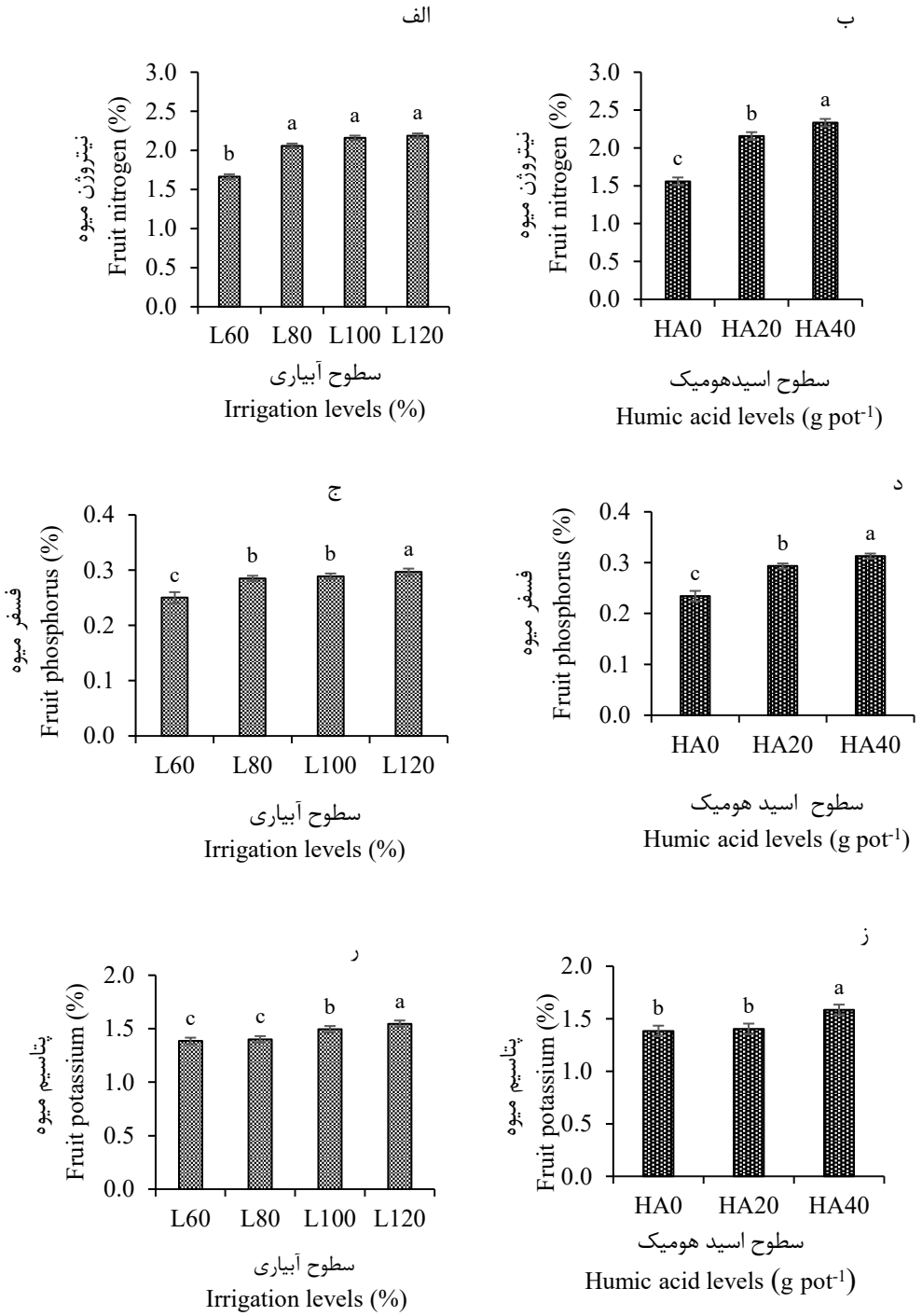
جدول ۲- اثر سطوح آبیاری و اسید هومیک بر برخی شاخص‌های مورفولوژی فلفل دلمه‌ای (*Caspicum annuum* L.)

Table 2- The effect of irrigation levels and humic acid on some morphological indicators in bell pepper (*Capsicum Annum* L.)

Treatments تیمارها	$L_{120}H_{40}$	$L_{120}H_{20}$	$L_{120}H_{0}$	$L_{100}H_{40}$	$L_{100}H_{20}$	$L_{100}H_{0}$	$L_{80}H_{40}$	$L_{80}H_{20}$	$L_{80}H_{0}$	$L60H_{40}$	$L_{60}H_{20}$	$L_{60}H_{0}$
ارتفاع گیاه Plant height	56.86^{a}	54.43^{b}	50.30^{d}	57.01^{a}	53.01^{c}	47.42^{f}	53.9^{bc}	48.99^{e}	40.86^{g}	28.27^{h}	26.03^{i}	22.96^{j}
وزن تر ساقه Stem fresh	73.24^{a}	67.18^{b}	60.14^{d}	72.78^{a}	66.92^{b}	58.21^{e}	62.23^{c}	58.57^{e}	50.04^{f}	42.91^{g}	39.60^{h}	34.86^{i}
وزن خشک ساقه Stem dry weight	18.11^{a}	16.47^{b}	14.01^{d}	18.42^{a}	16.01^{bc}	13.11^{d}	18.15^{a}	15.17^{c}	11.11^{e}	11.08^{e}	9.38^{f}	6.78^{g}
وزن تر ریشه Root fresh	39.96^{a}	36.93^{b}	34.05^{b}	39.33^{a}	37.09^{b}	33.08^{cd}	39.89^{a}	36.37^{b}	32.42^{d}	22.34^{e}	21.43^{e}	18.69^{f}
طول ریشه Root length	29.53^{d}	27.16^{f}	24.44^{h}	30.49^{c}	28.31^{e}	25.74^{g}	30.37^{c}	28.21^{e}	25.35^{g}	32.93^{a}	31.86^{b}	29.30^{d}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P<0.05)



شکل ۴- اثرات اصلی سطوح آبیاری و اسید هومیک بر غلظت نیتروژن (الف و ب)، فسفر (ج و د) و پتاسیم میوه (ر و ز) در فلفل دلمه‌ای (*Caspicum annuum* L.). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند. L_{60}، L_{80}، L_{100} و L_{120} سطوح آبیاری به ترتیب ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تخلیه‌ی رطوبتی خاک و HA_0، HA_2 و HA_4 به‌ترتیب سطوح صفر (شاهد)، ۲ و ۴ گرم اسید هومیک در هر کیلوگرم خاک هستند.

Figure 4- The main effects of irrigation levels and humic acid on fruit nitrogen (A & B), phosphorus (C & D) and potassium concentration (E & F) in bell pepper (*Caspicum annuum L*) Columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test. L_{60} ،L_{80} ،L_{100}, and L_{120} are irrigation levels 60, 80, 100, and 120 percent of soil moisture depletion, respectively, and HA_0 ،HA_2, and HA_4 are levels 0 (control), 2, and 4 gr acid humic per kg of soil.

نتیجه‌گیری

اعمال اسید هومیک و کاهش آبیاری به مقدار ۲۰٪ (L_{80}) نسبت به تیمار (L_{100}) در کشت فلفل دلمه‌ای، به افزایش راندمان آب در خاک کمک کرد. با توجه به بحران شدید کم‌آبی در اکثر نقاط ایران و جهان، یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر بیانگر این است که، استفاده از اسید هومیک می‌تواند در کاهش آب مورد نیاز محصول بسیار مؤثر باشد. کاربرد مقدار بیش‌تری از آب آبیاری (۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) در افزایش عملکرد فلفل دلمه‌ای اثر معنی‌داری را نشان نداد. به‌طور کلی کاربرد اسید هومیک به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد آن در بهبود کیفیت شرایط فیزیکی-بیولوژی و عناصر غذایی خاک مؤثر است. بنابراین با تکیه بر یافته‌های پژوهش حاضر، اسید هومیک و کم‌آبیاری، راهکارهای ارزشمندی برای افزایش عملکرد محصول، بهبود ویژگی‌های گیاه، WUE و صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری هستند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان مبنایی برای مطالعات آینده باشد. در مطالعات آینده توصیه می‌گردد کاربرد اسید هومیک در کشت فلفل دلمه‌ای با روش‌های آبیاری مختلف در سطح مزرعه مورد بررسی قرار گیرد و میزان بهبود کیفیت رشد گیاه، ساختمان خاک همراه با تعیین بهترین روش آبیاری با مصرف حداقل آب به‌صورت کاربردی مورد مطالعه قرار گیرد.

References

Aghlmand, S., Esmaeilpour, B., Abbas Zadeh, P., Soltani, A. A. & Jalilvand, P. (2016). Effects of Mycorrhizal Fungi and Salicylic Acid on Growth and Physiological Parameters of Basil (*Ocimum basilicum L*) Under Water Deficit Conditions. *Water and Soil Science*, 13, 66-51. (In Persian).

Alam, S. M. (1999). Nutrient Uptake by Plants under Stress Conditions. In: Pessarakli, M., Ed., *Handbook of Plant and Crop Stress* (pp. 285-313). Marcel Dekker, New York.

Alenazi, M. A., Wahb-Allah, H. S., Abdel-Razzak, A. A., Ibrahim, B. & Alsadon, A. (2016). Water regimes and humic acid application influences potato growth, yield, tuber quality and water use efficiency. *American Journal of Potato Research*, 93, 463-473. Https://doi.org/10.1007/s12230-016-9523-7

Ali, R. A. M., Attia, M. M. & Abd El-All, A. E. (2019). Influence of irrigation treatments and humic Acid (HA) application on vegetative gowth, yield, tuber quality water requirements and Water utilization efficiency (WUE) of potato plants. *Journal of Plant Production*, 10(9), 793-798. Https://doi.org/10.21608/jpp.2019.60026

Amerian, M., Khoramivafa, M. & Rabani, B. A. (2023). Effect of selenium and humic acid on germination and some morphological characteristics of quinoa under drought and salinity stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 1-16. https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.537591.1177

Asri, F. O., Demirtas, E. I. & Ari, N. (2015). Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science,* 21, 585-591.

Bacilio, M., Moreno, M. & Bashan, Y. (2016). Mitigation of negative effects of progressive soil salinity gradients by application of humic acids and inoculation with Pseudomonas stutzeri in a salt-tolerant and a salt-susceptible pepper. *Applied Soil Ecology,* 107, 394-404. Https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.012

Ben-Gal, A., Ityel, E., Dudley, L., Cohen, S., Yermiyahu, U., Presnov, E., Zigmond, L., & Shani, U. (2008). Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: A case study for bell peppers. *agricultural water management* 95, 587-597. Https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.12.008

Brennan, R. F., Armour, J. D. & Reuter, D. J. (1993). Diagnosis of Zinc Deficiency. In: Robson, A.D. (eds) *Zinc in Soils and Plants*.

Developments in Plant and Soil Sciences, vol 55. Springer, Dordrecht. Https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_12

Calvo Velez, P., Nelson, L. & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3-41. Https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Chapman, H. D. & Pratt, D. F. (1961). *Methods of Analysis for Soil, Plant, and water*. University of California Berkeley, CA, USA.

Çolak, Y. B., Yazar, A., Sesveren, S. & Colak, I. (2017). Evaluation of yield and leaf water potantial (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Scientia Horticulturae*, 219, 10-21. Https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.051

Cruz, D. O., Freitas, B. M., dasilva, L. A., dasilva, M. S. & Bomfim, L. G. (2005). Pollination efficiency of the stingless bee Melipona subnitida on greenhouse sweet pepper. *Agicultural and food sciences*, 40(12), 1197-1201. Https://doi.org/10.1590/S0100204X2005001200006

Dad, K., Nawaz, M., Hassan, R., Javed, K., Shaheen, A., Zhao, F. & Aurangzaib, M. (2021). Impact of biochar on the growth and physiology of tomato grown in the cadmium contaminated soil. *Pakistan Journal of Agricultural Reasearch*, 34(2), 454-462. Https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.454.462

Dada, O. A. & Ogunsesu, Y. O. (2016). Growth analysis and fruit yield of *Capsicum chinense*, Jacquin, as influenced by compost applied as foliar spray and soil augmentation in Ibadan, southwestern Nigeria. *Journal of Agriculture and Sustainability,* 9, 83-103.

Danish, S., Zafar-ul-Hye, M., Mohsin, F. & Hussain, M. (2021). ACC-deaminase producing plant growth promoting rhizobacteria and biochar mitigate adverse effects of drought stress on maize growth. *Plos One Journal,* 16(4), e0250286. Https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250286

El-Bassioung, H. S. M. Bakry, B. A. El-Monem Attia, A. A. & Abd Allah, M. M. (2014). Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (Triticum durum) grown under newly reclaimed sandy soil. *Agriculture Science,* 5(8), 687-700. Https://doi.org/10.4236/as.2014.58072

El-Hashash, E. F., Abou El-Enin, M. M., Abd El-Mageed, T. A., Attia, M. A., El-Saadony, M. T., El-Tarabily, K. A. & Shaaban, A. (2022). Bread wheat productivity in response to humic acid supply and supplementary irrigation mode in three Northwestern coastal sites of Egypt. *Agronomy*, 12(7), 1499-1510. Https://doi.org/10.3390/agronomy12071499

El-Sayed, H. A., Shokr, M. B., Elbauome, H. A. & Elmorsy, A. K. S. A. (2019). Response of sweet pepper to irrigation intervals and humic acid application. *Journal of Plant Production*, 10(1), 7-16. Https://doi.org/10.21608/jpp.2019.361939

Emami, A. (1996). *Method of analyzing plants*. Technical J. 982. Research Institute. Tehran University Press, (248 p). (In Persian).

Eshghi, S. & Garazhian, M. (2015). Improving growth, yield and fruit quality of strawberry by foliar and soil drench applications of humic acid. *Iran Agricultural. Research*, 34, 14-20. Https://doi.org/10.22099/iar.2015.3031

Garcia, A. C., Santos, L. A., Izquierdo, F. G., Sperandio, M.V. L. Castro, R. N. & Berbara, R. L. L. (2012). Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plants against oxidative stress. *African Journal of Biotechnology*, 47, 203-208. Https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.011

Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle-Size Analysis. In: Klute, A., (Ed), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, *Agronomy*

Monograph No. 9, 2nd Edition (pp. 383-411.). *American Society of Agronomy/Soil Science Society of America. Madison, WI.* https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15

Ghanbari, F., Cheraghi, M. & Erfani Moghadam, J. (2021). The effect of kaolin on drought stress tolerance and some physiological responses of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 5(1), 63-75. Https://doi:10.22034/iuvs.2020.137652.1122

Haghighi, M. & Najafi, H. (2020). The effect of humic acid on alleviating drought stress effects in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, 3(2), 147-158. https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.63701.1016

Heydari, N., Entesari, M. R., Kheyrabi, J., Farshi A. A., Vaziri, Z. H. & Alaei, M. (2006). *Water use efficiency in greenhouse production*. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). 180 pp. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.31432

Ibrahim, A., Abdel-Razzak, H., Wahb-Allah, M., Alenazi, M., Alsadon, A. & Dewir, Y. H. (2019). Improvement in growth, yield, and fruit quality of three red sweet pepper cultivars by foliar application of humic and salicylic acids, *Hort Technology*, 29(2), 170-178. Https://doi.org/10.21273/HORTTECH04263-18

Ihuoma, S. O. & Madramootoo, C. A. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 267-275. Https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.026

Jan, J. A., Nabi, G., Khan, M., Ahmad, S., Shah, P. S. & Hussain, S. (2020). Foliar application of humic acid improves growth and yield of chilli (*Capsicum annum L.*) varieties. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 33(3), 461-472. Https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.461.472

Lichtenthaler, H. K. (1987). *Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes*, In: L. Packer and R. Douce, Eds., Methods in Enzymology, Vol. 148, Academic Press, New York, 1987, pp. 350-382. Https://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Mahmood, N., Abbasi, N. A., Hafiz, I., Ali, I. & Zakia, S. (2017). Effect of biostimulants on growth, yield, and quality of bell pepper cv. Yolo Wonder. *Pakistan Journal.of Agricultural Sciences.* 54(2), 311-317. Https://doi.10.21162/PAKJAS/17.5653

Manas, D., Bandopadhyay, P. K., Chakravarty, A. & Pal, S. (2014). Effect of foliar application of humic acid, zinc and boron on biochemical changes related to productivity of pungent pepper (Capsicum annuum L.). *African Journal of Plant Science*. 8, 320-335. Https://doi.org/10.5897/AJPS2014.1155

Mardi, M., Abbasifar, A. & ValizadehKaji, B. (2022). Comparison of the effect of biological and non-biological fertilizers on quantitative, qualitative and phytochemical properties of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 5(2), 1-17. https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.541559.1180

Mindari, W., Sasongko, P. E., Kusuma, Z., Syekhfani, S. & Aini, N. (2018). Efficiency of various sources and doses of humic acid on physical and chemical properties of saline soil and growth and yield of rice. *In AIP Conference Proceedings,* (Vol. 2019, No. 1). AIP Publishing. Https://doi.org/10.1063/1.5061854

Moosavi, S. G. (2019). The Effect of Irrigation, Methanol and Humic Acid on Physiological Traits, Yield and Water Use Efficiency of Chicory. *Agricultural Journal*, 4, 393-406. (In Persian). Https://www.magiran.com/p2071884

Mwando, N.L., Ndlela, S., Meyhöfer, R., Subramanian, S. & Mohamed, S.A. (2022). Immersion in hot water as a phytosanitary treatment for Thaumatotibia leucotreta (Lepidoptera: Tortricidae) in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 192, 112026.

https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112026

Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M. E., Eds, *Methods of Soil Analysis* (pp. 961-1010.). Part 3-Chemical Methods, *Soil Science Society of America Inc., Madison*. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. U.S.D A Circular No 939. US Government Printing Office, Washington DC.

Paradikovic, N., Vinkovic, T., Vinkovic Vrcek, I., Zuntar, I., Bojic, M. & Medic Saric, M. (2011). Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum L.*) plants. *Journal of Science Food Agriculture,* 91, 2146-2152. Https://doi.org/10.1002/jsfa.4431

Pourmansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A. R. & Moosavi, A. A. (2019). Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management*, 9(1), 15-28. (In Persian). Https://doi.org/10.22059/jwim.2019.278053.665

Qin, K. & Leskovar, D. I. (2018). Lignite-derived humic substances modulate pepper and soil-biota growth under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 181(5), 655-663. Https://doi.org/10.1002/jpln.201800078

Qin, K. & Leskovar, D. I. (2020). Assessments of humic substances application and deficit irrigation in triploid watermelon. *Hort Science,* 55(5), 716-721. Https://doi.org/10.21273/HORTSCI14872-20

Rostami, G., Moghaddam, M., Saeedi Pooya, E. & Ajdanian, L. (2019). The effect of humic acid foliar application on some morphophysiological and biochemical characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) in drought stress conditions. *Environmental. Stresses in Crop Sciences*, 12(1), 95-110. (In Persian). Https://doi.org/10.22077/escs.2018.1296.1264

Safarzadeh Shirazi, S., Zibaei, Z. & Ostovar, P. (2019). Effect of rice husk biochar on growth and micronutrients concentration of holy basil (*Ocimum sanctum L.*) under water stress. *Plant production research*, 26 (2), 101-114.(In Persian). Https://20.1001.1.23222050.1398.26.2.8.5

Saif El-Deen, U. M., Ezzat, A. S. & El-Morsy, A. H. A. (2011). Effect of phosphorus fertilizer rates and application methods of humic acid on productivity and quality of sweet potato. *Journal of Plant production*, 2(1), 53–66. Https://doi.org/10.21608/jpp.2011.85460

Sajadi, F., Sharifan, H. & Jamali, S. (2017). Evaluation the use of Caspian Seawater for Irrigation Green pepper under Greenhouse Conditions. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(2), 274-285. (In Persian).

Salehi, B., Bagherzadeh, A. & Ghasemi, M. (2010). Impact of humic acid on growth properties and yield components of three tomato varieties (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Agroecology*, 2(4), 640-647. (In Persian). Https://doi.10.22067/jag.v2i4.8802

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumor, A., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2007). Droughtinduced biochemical modifications and proline metabolism in Abelmoschus esculentus (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica,* 66(1), 43-56. Sardans, J., Penuelas, J. & Estiarte, M. (2006). Warming and drought alter soil phosphatase activity and soil P availability in a Mediterranean shrubland. *Plant and Soil*, 289, 227-238. Https://doi.org/10.1007/s11104-006-9131-2

Selladurai, R. & Purakayastha, T. J. (2016). Effect of humic acid multinutrient fertilizers on yield and nutrient use efficiency of potato. *Journal of plant nutrition*, 39(7),

949-956. Https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109106

Shaabani, M., Iriti, M., Mortazavi, S. N., Amirmohammadi, F. Z. & Zamanian, K. (2022). The effects of two organic fertilizers on morpho physiological traits of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *South African Journal of Botany*, 148, 330-335. http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2022.04.035

Shokhmgar, M., Seghatoleslami, M., Moosavi, S. G. & Baradaran, R. (2023). Plant growth regulators can affect the physiological traits of foxtail millet (*Setaria italica*) under deficit irrigation. *Gesunde Pflanzen*, 75, 2505-2514. Https://doi.org/10.1007/s10343-023-00911-7

Sood, T., Sood, S., Sood, V. K., Badiyal, A., Anuradha, Kapoor, S., Sood, V. & Kumar, N. (2023). Characterisation of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. grossum Sendt.) accessions for genetic diversity and population structure based on agro-morphological and microsatellite markers. *Scientia Horticulturae*, 321, 112308.

Souri, M. K., Yaghoubi Sooraki, F. & Moghadamyar, M. (2017). Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology,* 58, 530-536. Https://doi.org/ 10.1007/s13580-017-0349-0

Sun, K., Liang, S., Kang, F., Gao, Y. & Huang, Q. (2016). Transformation 882 of 17 β-estradiol in humic acid solution by ε-MnO2 nanorods as probed by high-resolution mass spectrometry combined with (13) C labeling. *Environmental Pollution*, (214), 211-218. Https://doi.org/ 10.1016/j.envpol.2016.04.021

Tabatabaei, H., Mardaninezhad, S. & Zareh, E. (2014). Effect of water stress growth indices, yield and water use efficiency of pepper plant in greenhouse condition. *Soil and water research,* 28(1), 63-71. (In Persian). Https://20.1001.1.22287140.1393.28.1.1.6.7.3

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil Acidity. In: Sparks, D.L., Ed., *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* (pp. 475-490.), SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16

Ukalska-Jaruga, A., Bejger, R., Debaene, G. & Smreczak, B. (2021). Characterization of soil organic matter individual fractions (fulvic acids, humic acids, and humins) by spectroscopic and electrochemical techniques in agricultural soils. *Agronomy,* 11 (6), 1067-1085. Https://doi.org/10.3390/agronomy11061067

Xu, D., Yuan, S., Chen, B., Shi, J., Sui, Y., Gao, L., Geng, S., Zuo, J. & Wang, Q. (2023). A comparative proteomic and metabolomic analysis of the low-temperature response of a chilling-injury sensitive and a chilling-injury tolerant cultivar of green bell pepper. *Scientia Horticulturae*, 318, 112092. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112092

Walkley, A. & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science,* 37(1), 29-38. Https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Zeeshan, M., Ahmad, W., Hussain, F., Ahamd, W., Numan, M., Shah, M. & Ahmad, I. (2020). Phytostabalization of the heavy metals in the soil with biochar applications, the impact on chlorophyll, carotene, soil fertility and tomato crop yield. *Journal of Cleaner Production*, 255, id 120318. Https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120318

Zikki, K. A. F. (2020). *Quality of bell pepper (Capsicum annuum L.) affected by drought condition: a thesis presented in the partial fulfilment of the requirements.* Master of Philosophy. Massey University, Palmerston North, New Zealand.