

تأثیر عصاره جلبک دریایی قهوه‌ای بر کاهش اثرات تنش آبی در فلفل دلمه‌ای

صادق عسکری دهنو^۱، فرزاد حسن‌پور^۲، حلیمه پیری^{۳*}، عیسی خمیری^۳

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: askari_sami@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: hassanpourrir@uoz.ac.ir; H_piri2880@uoz.ac.ir

۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: ikhammari@uoz.ac.ir

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب فلفل دلمه‌ای در شرایط تنش آبی انجام شد. تا کنون تحقیقی در این زمینه در دشت سیستان انجام نشده است. تحقیق حاضر در بهمن ماه ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهرستان زهک در قالب طرح کرت‌های خرد شده به صورت بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل ۳ سطح مقدار آب آبیاری (I1، I2، I3 به ترتیب معادل ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی (SE1، SE2، SE3 و SE4 به ترتیب معادل ۰، ۰/۵، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بود. محلول‌پاشی برگی تیمار صفر (تیمار شاهد بدون جلبک دریایی) با آب مقطر انجام شد. نمونه‌برداری از تیمارها به منظور تعیین ویژگی‌های ظاهری آن‌ها در فواصل زمانی هر دو هفته یک بار و در طول دوره رشد فلفل دلمه‌ای انجام شد. این پارامترها شامل ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ بود. اولین برداشت میوه اواسط اردیبهشت ۱۴۰۳ انجام و در مجموع هشت مرحله برداشت انجام گردید. نتایج نشان داد تأثیر جلبک دریایی و مقادیر آب آبیاری بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد و اجزای آن از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار نداشت. استفاده از عصاره جلبک دریایی باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی شد. بیشترین تأثیر مثبت جلبک دریایی از تیمار ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی به‌دست آمد. بیشترین ارتفاع (۹۶/۴ سانتی‌متر)، قطر میوه (۷/۱ سانتی‌متر)، وزن میوه (۹۲/۵ گرم)، عملکرد (۳۲/۸ تن در هکتار)، حجم ریشه (۱۰۵/۶ سانتی‌متر مکعب) و طول ریشه (۵۱/۷ سانتی‌متر) از تیمار I3SE4 به‌دست آمد که با تیمار I2SE4 تفاوت معنی‌دار نداشت. با توجه به این‌که بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۴/۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب) از تیمار I2SE4 به‌دست آمد لذا این تیمار (مصرف ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی و مقدار آب آبیاری به اندازه ۸۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) به‌عنوان تیمار برتر معرفی می‌گردد.

کلمات کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، عملکرد.

۱- مقدمه

نیاز روز افزون به محصولات کشاورزی از یک سو و از سوی دیگر کمبود منابع آب در بیشتر نقاط کشور به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک سبب شده بهینه سازی مصرف آب در سر لوجه کار برنامه ریزان و سیاست گذاران قرار گیرد. یکی از راهبردهای مهم بهینه سازی مصرف آب، کاربرد روش های کم آبیاری می باشد. استفاده از روش های کم آبیاری می تواند باعث کاهش رطوبت خاک و عملکرد محصول شود. به همین دلیل در دهه های اخیر توجه زیادی به ترکیب های محرک زیستی به عنوان راهکاری برای غلبه بر تنش های زیستی و غیرزیستی شده است. استفاده از کودهای زیستی یکی از راه های رسیدن به کشاورزی پایدار و افزایش توان تولید گیاهان در شرایط تنش های محیطی است. کودهای زیستی به مجموعه مواد نگهدارنده با تعداد زیادی از ریز جانداران مفید گفته می شود که بیشتر به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک برای رشد و نمو آن استفاده می شوند. انواعی از کودهای زیستی با منشأ باکتری، قارچ، جلبک و یا دیگر موجودات خاکی در جهان قابل تولید است که ساز و کار عمل تمامی آن ها قابل جذب نمودن عناصر غذایی توسط گیاه است (Bindhu, 2013). یکی از نهادهای مورد استفاده در کشاورزی ارگانیک، استفاده از عصاره جلبک دریایی است که می تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی صنعتی باشد (Javanmardi and Azadi, 2014). برخلاف کودهای شیمیایی، عصاره به دست آمده از جلبک دریایی از تخریب محیط زیست جلوگیری نموده، غیرسمی بوده و آلودگی خطرناک برای انسان، حیوانات و پرندگان ایجاد نمی کند (Del Poso et al., 2007). استفاده از جلبک دریایی تازه به عنوان منبع ماده آلی و کود در کشاورزی از زمان های قدیم شناخته شده است، اما اخیراً محرک رشد بودن آن ثابت شده است. طبق گزارش فائو مقدار قابل توجهی از عصاره جلبک های دریایی (۲۰ میلیون تن در سال) به عنوان محرک رشد، اصلاح کننده خاک و مکمل تغذیه ای در کشاورزی استفاده می شود. عصاره جلبک های دریایی ترکیب پیچیده ای از موادی است که ترکیب آن بسته به منبع جلبک، فصل جمع آوری و روش عصاره گیری متفاوت است (Sharma et al., 2012).

جلبک های دریایی قهوه ای (*Ascophyllum nodosum*) یکی از مهمترین منابع پایدار با پتانسیل صنعتی به حساب می آیند. عصاره جلبک دریایی شامل تعدادی از فیتوهورمون ها مانند اکسین ها، سیتوکینین ها، جیبرلین ها، آبسزیک اسید و براسینواستروئیدها است (Zodape et al., 2010). از جمله مزایای استفاده از کود جلبک دریایی در کشاورزی رشد و گسترش بیشتر ریشه ها، جوانه زنی بهتر و سریع تر بذرها، به تأخیر انداختن پیری میوه ها، افزایش عمر پس از برداشت محصولات، افزایش توان و مقاومت گیاهان در برابر تنش های زنده و غیرزنده و افزایش کمیت و کیفیت میوه ها می باشد (Hernández-Herrera et al., 2014).

جلبک ها به علت داشتن ساختار رشته ای و تولید مواد چسبنده، باعث افزایش تخلخل خاک و افزایش نگهداشت آب خاک می شوند (Sridhar and Rengasamy, 2011). نتایج تحقیقات مختلف، آثار مثبت عصاره جلبک دریایی را بر گیاهانی مانند انگور (Norrie and Keathley, 2006)، خیار (Sarhan et al., 2011) و کلم بروکلی (Mattner et al., 2013) نشان می دهد. عصاره جلبک دریایی به دلیل داشتن هورمون های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، عناصری همچون نیتروژن، آهن، روی، مس، کبالت، مولیبدن، منگنز، منیزیم و نیکل، ویتامین ها و اسیدهای آمینه، تأثیر مفیدی بر رشد گیاهان و ایجاد مقاومت در برابر

تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی و دما دارد (Haghparsat et al., 2012). Ismailpour et al. (2019) در تحقیقی نشان دادند محلول پاشی با غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی بر گیاه ریحان، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشاء، سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش خشکی شد. پژوهشی توسط Xu et al. (2015) به منظور تعیین ارزیابی و تاثیر عصاره جلبک دریایی بر رشد، فیزیولوژی و تغذیه اسفناج تحت شرایط تنش خشکی انجام گرفت. نتایج بررسی نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در تیمار آبیاری کامل تأثیری بر رشد اسفناج نداشت. ولی این ماده با بهبود روابط آبی و کاهش محدودیت بازشدن روزنه‌ای گیاه سبب بهبود رشد اسفناج در شرایط تنش خشکی ملایم شد. محلول پاشی جلبک دریایی بر گیاه گوجه‌فرنگی باعث افزایش شاخص‌های رشدی مانند ارتفاع گیاه و تعداد شاخه و افزایش شاخص‌های زایشی از جمله تعداد گل، تعداد میوه در بوته و وزن میوه شد (Kumari et al., 2011).

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum L.* گیاهی علفی و یکساله متعلق به خانواده Solanaceae و یکی از سبزی‌های مهم در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان است. میوه فلفل به دلیل داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شامل فنول‌ها، ویتامین ث و کارتنوئیدها دارای ارزش بالایی بوده و برای تنظیم فشارخون، افزایش اشتها و هضم غذا استفاده می‌شود (Tapus et al., 2007). سطح زیر کشت فلفل در سال ۲۰۱۷ تقریباً دو میلیون هکتار بود که منجر به تولید ۳۶ میلیون تن فلفل شد. چین بزرگترین تولیدکننده فلفل در دنیا است و مکزیک و ترکیه بعد از آن قرار دارد (FAOSTAT, 2018). در ایران، فلفل دلمه‌ای یکی از پرمصرف‌ترین سبزی‌ها در سبد غذایی خانوار است. استان‌های اصفهان، یزد و کرمان از مراکز اصلی تولید فلفل محسوب می‌شوند که به ترتیب بیشترین سطح تولید را نسبت به سایر استان‌های کشور به خود اختصاص داده‌اند. فلفل گیاهی حساس به تنش خشکی است. تحقیقات روی این گیاه نشان داده است تنش آبی در مرحله گل‌دهی باعث ریزش گل و کاهش تعداد میوه و عملکرد گیاه می‌شود (Rubio et al., 2010).

همان‌طور که تحقیقات نشان داد محلول پاشی عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبت بر کاهش اثرات تنش آبی در گیاهان دارد. با توجه به این‌که در منطقه سیستم اراضی زیادی وجود دارد که قابل زرع می‌باشد اما به خاطر کمبود منابع آب به صورت بایر رها شده‌اند. بنابراین باید دنبال راه‌کاری بود که با حفظ شرایط پایدار در منابع آب و خاک منطقه از لحاظ اقتصادی موجب توسعه کشاورزی شود. یکی از کارهایی که در شرایط کمبود آب انجام می‌شود، کم‌آبیاری است. کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. بنابراین با توجه به مزایایی که درباره جلبک دریایی گفته شد و با توجه به اهمیت مشکل کم‌آبی که در بسیاری از مناطق کشور و از جمله منطقه مورد مطالعه وجود دارد، هدف از این تحقیق استفاده از عصاره جلبک دریایی در کاهش اثرات تنش کم آبی بر فلفل دلمه‌ای در منطقه سیستم می‌باشد.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در بهمن ماه ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهرستان زهک در قالب طرح کرت‌های خرد شده به صورت بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. شهرستان زهک در منطقه سیستان در استان سیستان و بلوچستان در ۶۱ درجه و ۶۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۸۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. منطقه مطالعاتی دارای اقلیم فرا خشک بوده و میزان بارندگی آن در سال کمتر از ۶۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



Figure 1. Geographical location of the study area

۲-۲- تیمارها و اجرای مراحل زراعی

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از مراحل آماده‌سازی زمین نمونه‌های خاک از اعماق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد. همچنین از آب مورد استفاده نیز جهت تعیین کیفیت آن نمونه‌برداری شد. نتایج تجزیه آب و خاک مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil

Absorbable phosphorus (ppm)	Organic carbon (ppm)	Absorbable potassium (ppm)	EC (dsm-)	pH	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	Soil texture	Sampling depth (cm)
4.6	0.72	280	2.1	7.6	9	49	42	Loam sand	0-30
5.7	0.68	231	2.5	7.8	12	48	40	Loam sand	30-60

Table 2. Values of chemical properties of irrigation water

Anions (meqlit ⁻¹)				Cations (meqlit ⁻¹)			SAR	EC (dsm ⁻¹)	pH	water sample
So4	Cl	HCO3	K	Na	Mg	Ca				
1.6	0.6	4.1	0.06	2.6	1.2	1.8	2.1	0.7	7.6	S1

تیمارها شامل ۳ سطح میزان آب آبیاری (I1، I2، I3 به ترتیب معادل ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ظرفیت زراعی خاک) و محلول پاشی غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی (SE1، SE2، SE3 و SE4 به ترتیب معادل ۰، ۰/۵، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بود. محلول پاشی برگ‌ی تیمار صفر (تیمار شاهد بدون جلبک دریایی) با آب مقطر انجام شد.

کاشت در ابتدای اسفند ۱۴۰۲ انجام شد. ابتدا زمین مورد نظر شخم و دیسک زده و کرت‌بندی شد. طول هر کرت چهار متر و عرض آن سه متر بود. همچنین فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر در نظر گرفته شد. در هر کرت پنج ردیف کشت بود که دو ردیف کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و داده‌های مورد نیاز از ردیف‌های میانی برداشت شد. فواصل ردیف‌های کشت از هم ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود.

بر اساس نتایج آزمون اولیه خاک، نیاز کودی خاک شامل کمبود عناصر غذایی مهم نظیر پتاسیم، فسفر و ازت به ترتیب با مصرف کودهای سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در ابتدای فصل کشت و کود اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک در دو مرحله ابتدای کشت و چهار هفته پس از کشت تأمین شد. جلبک دریایی در چهار مرحله به صورت محلول بر گیاه پاشیده شد. در هر مرحله مقدار صفر، ۰/۵، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر از کود اندازه‌گیری شده و در آب مقطر حل شده و به صورت محلول پاشی به برگ‌ها اعمال شد. تیمار شاهد (صفر) توسط آب مقطر آب پاشیده شد.

۲-۳- تعیین مقدار آب آبیاری

اندازه‌گیری رطوبت خاک در محدوده مورد نظر برای تعیین نیاز آبی گیاه، با استفاده از دستگاه TDR انجام گرفت. سپس مقدار عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Liue et al., ۲۰۰۶).

$$d = \sum_{i=1}^n (\theta_{fci} - \theta_i) \Delta Z_i \quad (1)$$

در معادله فوق d عمق آبیاری (متر)، θ_{fci} و θ_i به ترتیب رطوبت حجمی خاک ($m^3.m^{-3}$) در حالت ظرفیت زراعی و قبل از آبیاری در لایه i ام است. همچنین ΔZ ضخامت لایه بر حسب متر و n شماره لایه خاک می‌باشد.

سیستم آبیاری مورد استفاده آبیاری قطره‌ای شامل لوله‌های آبیاری قطره‌ای تیپ با فواصل قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر روی لوله و دبی خروجی ۲ لیتر بر ساعت با فشار ۱۰۰ کیلوپاسکال بود. برای هر ردیف گیاهی یک نوار تیپ در نظر گرفته شد. دور آبیاری برای همه

تیمارها ثابت و به صورت دو روز در میان و با هدف تأمین کمبود رطوبت خاک تا عمق ۶۰ سانتی متری در تیمار آبیاری کامل و رساندن به حد ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شد. حجم آب محاسبه شده از رابطه ۱ با استفاده از کنتور به هر کرت داده شد. حجم آب سایر تیمارها بر اساس این حجم تعیین و اعمال شد. مقدار آب آبیاری تمامی تیمارها تا زمان سبز شدن (مرحله چهار برگی) یکسان، بدون اعمال تیمارها انجام شد. پس از طی شدن مراحل رشد ابتدایی و استقرار کامل گیاه، تیمارهای کم آبی و جلبک دریایی اعمال شد. جلبک دریایی در چهار مرحله و هر دو هفته یک بار پس از استقرار کامل گیاه، محلول پاشی شد.

۲-۴- نمونه برداری گیاهی و اندازه گیری پارامترها

نمونه برداری از تیمارها به منظور تعیین ویژگی های ظاهری آنها در فواصل زمانی هر دو هفته یک بار و در طول دوره رشد فلفل دلمه ای انجام شد. این پارامترها شامل ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ بود. اولین برداشت میوه اواسط اردیبهشت ۱۴۰۳ انجام شد. برداشت میوه هر هفته تا زمانی انجام گرفت که میوه از حالت بازارپسندی خارج شد. در مجموع هشت مرحله برداشت انجام گردید. در پایان فصل رشد نیز طول و حجم ریشه، تعداد، قطر و وزن میوه و عملکرد گیاه تعیین شد. برای اندازه گیری عملکرد کل هریک از بوته ها، پس از برداشت میوه ها، به کمک یک ترازوی دیجیتالی، وزن میوه ها در برداشت های متوالی (هفته ای یک بار) ثبت و در پایان پس از جمع بندی عملکرد هر بوته محاسبه شد. برای محاسبه تعداد میوه در بوته، تعداد کل میوه های برداشت شده از هر بوته ثبت شد. از تقسیم عملکرد کل بر تعداد میوه در هر بوته، میانگین وزن میوه به دست آمد. جهت تعیین پارامترهای مربوط به ریشه، ریشه گیاه از خاک در آورده شد. اندازه بزرگترین ریشه به عنوان طول ریشه گیاه در نظر گرفته شد. به منظور تعیین حجم ریشه از قانون ارشمیدس استفاده شد. بدین منظور با قرار دادن ریشه ها در استوانه های مدرج و تعیین میزان تغییر سطح آب، حجم ریشه اندازه گیری شد.

۲-۵- بهره وری آب^۱ (WP)

بهره وری آب عبارت است از: نسبت محصول تولید شده به آب آبیاری، که از رابطه (۲) محاسبه شد (Payero et al., 2009).

$$WP = \frac{Y}{IR} \quad (2)$$

در این رابطه، WP: بهره وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y: مقدار محصول برداشت شده (کیلوگرم در هکتار) و IR: مقدار آب آبیاری (مترمکعب) است.

در پایان داده های اندازه گیری شده با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل و میانگین ها با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

¹ Water productivity

۲-۶- روند تغییرات سرعت رشد^۱ (CGR)

به منظور بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی بر کاهش اثرات تنش آبی بر فلفل دلمه، روند تغییرات سرعت رشد (CGR)، روند سرعت رشد نسبی^۲ (RGR) و شاخص سطح برگ^۳ (LAI) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نمونه‌های برداشت شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک و سپس توزین گردیده و با استفاده از روابط ۳ تا ۵ روند تغییرات رشدی گیاه به دست آمد (Javadi et al., 2007):

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \quad (۳)$$

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1} \quad (۴)$$

$$LAI = \frac{LA}{GA} \quad (۵)$$

در این رابطه‌ها، CGR: سرعت رشد محصول (گرم بر متر مربع در روز)، W1 و W2: وزن خشک برداشت شده (گرم)، T1 و T2: زمان‌های برداشت (روز)، LA: سطح برگ (متر مربع) و GA: سطح زمین (یک متر مربع در نظر گرفته شد) می‌باشد. برای اندازه‌گیری سطح برگ گیاه، برگ‌های هر بوته جدا شده، سطح هر برگ اندازه‌گیری و مجموع مساحت‌های به دست آمده به عنوان سطح برگ یک بوته در نظر گرفته شد. میانگین سطح برگ‌های یک بوته به عنوان سطح یک برگ در نظر گرفته شد. برای تعیین سطح هر برگ، طول برگ به عنوان طول یک مستطیل و میانگین سه عرض به عنوان عرض مستطیل در نظر گرفته و مساحت مستطیل حاصل به عنوان سطح برگ در نظر گرفته شد. سه عرض اندازه‌گیری شده برگ عبارت بودند از: بزرگترین عرض برگ (اغلب در وسط طولی برگ قرار دارد)، متوسط عرض قسمت پایینی برگ و متوسط عرض قسمت بالایی برگ.

۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر مقدار آب آبیاری و جلبک دریایی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آب آبیاری و جلبک دریایی نیز در سطح احتمال یک و پنج درصد بر پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. اثر تکرار بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده شرایط یکنواخت آزمایش برای همه تکرارها بوده است (جدول ۳).

¹ Crop growth rate

² Relative growth rate

³ Leaf area index

Table 3. Results of analysis of variance (mean square and degrees of freedom) of the measured traits

Sources of change	degrees of freedom	Water productivity	yield	fruit weight	Fruit diameter	Number of fruits per plant	plant height	Root volum	root length
R	2	74.3ns	89.3ns	156.4ns	10.2ns	6.5ns	102.42ns	124.6ns	11.5ns
(irrigation) I	2	267.2*	2186.5*	247.6**	22.4*	19.6*	1247.3**	258.4*	38.4*
R* I	4	158.1	106.3	185.2	9.5	7.9	146.7	294.2	21.6
SE (seaweed extract)	3	284.6*	154.8*	345.9*	26.7*	21.7*	859.1*	342.5*	45.7**
I*SE	6	349.5*	396.4*	412.8*	32.6*	10.3*	1002.7*	298.7*	52.7*
R* SE(I)	12	176.2	184.5	146.7	15.8	8.4	346.8	178.7	27.3
coefficient of variation (%)		14.8	11.7	13.5	12.4	14.5	14.3	12.3	11.4

* and **significance at the probability level of five percent and one percent, ns non-significance.

۱-۳- ارتفاع بوته: بر اساس جدول ۴ با کاهش عمق آب آبیاری ارتفاع گیاه کاهش یافت. بیشترین مقدار ارتفاع در تیمار ۱۰۰ درصد آب آبیاری (۹۳/۴ سانتی متر) مشاهده شد. که از این نظر با تیمار ۸۰ درصد آب آبیاری تفاوت معنی دار نداشت. کمترین مقدار آن در تیمار ۶۰ درصد آب آبیاری (۷۲/۵ سانتی متر) بود. Ghahremani et al. (2023) با اعمال تکنیک کم آبیاری در طی روند تولید و پرورش فلفل دلمه‌ای گزارش دادند که کاهش میزان آبیاری به ۷۵ درصد نیاز آبی موجب کاهش معنادار ارتفاع بوته‌ها و سطح برگ شد. کاهش ارتفاع ناشی از تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز و نقصان پتانسیل فشاری باشد که در نتیجه مانع بزرگ شدن سلول‌ها شده و ارتفاع کاهش می‌یابد (Hosseinzadeh et al., 2017). مطالعات انجام شده نشان داده است، اولین مرحله دفاع گیاه در برابر تنش خشکی کاهش سطح برگ و طول ساقه است که به علت اختلاف پتانسیل آب در مدت دوره تنش خشکی و در نتیجه کاهش آب بافت‌های گیاه اتفاق می‌افتد (Hassan et al., 2013). استفاده از جلبک دریایی باعث افزایش ارتفاع بوته شد. کاربرد ۳، ۱/۵ و ۰/۵ گرم در لیتر جلبک دریایی باعث افزایش ۳۹/۲۶، ۲۲/۸۵ و ۱۱/۶۶ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف جلبک دریایی) شد. بیشترین ارتفاع بوته (۹۷/۸ سانتی متر) با مصرف ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی به دست آمد. در تحقیقاتی مشابه، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی سبب افزایش رشد رویشی، تعداد شاخه جانبی و سطح برگ در توت‌فرنگی (El-miniawy et al., 2014) و افزایش ارتفاع در گلرنگ شد (Sibi et al., 2016). محرک‌های رشد موجود در جلبک دریایی مانند سایتوکینین‌ها و مواد اکسینی سبب افزایش تقسیم و طویل شدن سلولی و توسعه برگ و رشد رویشی گیاه می‌شوند (Xu and Leskovar, 2015). اثرات متقابل آب آبیاری و جلبک دریایی (جدول ۵) نشان داد در همه تیمارهای آبیاری با افزایش عمق آب آبیاری و افزایش مصرف جلبک دریایی، ارتفاع بوته افزایش یافت. تیمار I3SE4 بیشترین ارتفاع بوته (۹۶/۴ سانتی متر) را داشت اما از این نظر با تیمارهای I3SE3 (۹۱/۷ سانتی متر) و I2SE3 (۹۵/۷ سانتی متر) تفاوت معنی داری نداشت. محققان با بررسی جلبک آزولا بر بادرشبو در شرایط کم آبی بیان کردند که عصاره جلبک دریایی اثرات تنش خشکی را تا حد زیادی کاهش داد و سبب افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه، حفظ ساختار سلولی، افزایش ارتفاع و دیگر صفات مورفولوژیک گیاه شد (Ghasemi Maham et al., 2018).

۲-۳- قطر، وزن و تعداد میوه در بوته: همان‌طور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود با کاهش عمق آب آبیاری تعداد میوه گیاه کاهش یافت. بیشترین مقدار آن از تیمار ۱۰۰ درصد آب آبیاری (۹/۳ عدد) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌دار با تیمار ۸۰ درصد آب آبیاری (۸/۴ عدد) نداشت. تحقیقات روی گیاه فلفل نشان داده است این گیاه در طول دوره گل‌دهی و رشد میوه به تنش آبی حساس می‌باشد و تنش آبی باعث سقط جنین گل و کاهش تعداد میوه گیاه می‌شود (Fernández et al., 2005; Jaimez et al., 2000). کاربرد جلبک دریایی باعث افزایش تعداد میوه شد. بیشترین افزایش تعداد میوه (۶۸/۹۶ درصد) با مصرف ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی (تیمار SE4) مشاهده شد. اثرات متقابل آب آبیاری و جلبک دریایی (جدول ۵) نشان داد با افزایش آب آبیاری و افزایش مصرف جلبک دریایی تعداد میوه افزایش یافت. با کاهش عمق آب آبیاری وزن و قطر میوه کاهش یافت (جدول ۴). قطر و وزن میوه در تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد آب آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشتند. کاهش عمق آب تا ۶۰ درصد باعث کاهش ۲۱/۲ و ۳۰/۵ درصدی قطر و وزن میوه نسبت به تیمار آبیاری کامل شد. کاهش قطر و وزن میوه در اثر تنش آبی می‌تواند به علت کاهش محتوای آب سلول‌های میوه باشد. این کاهش در محصولات مشابه همچون خیار، بادمجان و گوجه‌فرنگی نیز گزارش شده است (Piri et al., 2022; Parkash et al., 2021; Cantürk et al., 2023; Xu et al., 2014). فرآورده‌های مرتبط با آن در گیاه به‌شدت تحت تأثیر مقدار آب در دسترس سلول قرار دارد و در شرایط کمبود آب، کاهش نرخ آسمیلاسیون سلولی به‌طور مستقیم بر میزان تولید ماده خشک در سلول‌ها و وزن نهایی محصول تولید شده تأثیرگذار است (Khazaei et al., 2020). استفاده از جلبک دریایی قطر و وزن میوه را افزایش داد. بیشترین قطر (۶/۸ سانتی‌متر) و وزن میوه (۹۲/۲ گرم) از تیمار SE4 (مصرف ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی) به‌دست آمد. محلول‌پاشی برگ‌ی جلبک دریایی در طول دوره رشد توت‌فرنگی، باعث افزایش اندازه، طول، قطر، وزن و عملکرد میوه شد و این افزایش به حضور تنظیم‌کننده‌های رشدی همچون اکسین، جیبرلین، کیتین و زاتین در عصاره جلبک دریایی نسبت داده شده است (Eshghi et al., 2017). اثرات متقابل آب آبیاری و جلبک دریایی نشان داد با افزایش آب آبیاری و افزایش مصرف مقدار جلبک دریایی قطر و وزن میوه افزایش یافت (جدول ۵). قطر میوه از ۷/۱ تا ۴/۱ سانتی‌متر و وزن میوه از ۹۲/۵ تا ۴۵/۳ گرم در تیمارهای I3SE4 و I1SE1 متغیر بود. در تمامی سطوح آبیاری کاربرد جلبک دریایی باعث افزایش قطر و وزن میوه شد. عصاره جلبک دریایی سبب تسریع گل‌دهی، افزایش تشکیل میوه و تولید میوه زودرس در برخی گیاهان می‌شود. افزایش عملکرد در اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی احتمالا به دلیل حضور هورمون‌های رشد مانند سایتوکینین در آن‌ها است. سایتوکینین در مرحله رشد رویشی سبب توزیع بهتر عناصر غذایی و در مرحله زایشی سبب تحرک عناصر غذایی می‌شود (Khan et al., 2009). تحقیقات نشان داده است جلبک‌های دریایی حاوی ۱۸-۱۹ آمینواسید هستند که اثرات ترکیبی آن‌ها سبب بهبود عملکرد و جذب عناصر غذایی می‌شود. این اثرات در پاپایا سبب افزایش تعداد میوه (Morales-Payan and Stall, 2003) و در کارلا سبب افزایش تعداد میوه و وزن تر و خشک میوه (Amini Fard and Khandan, 2019) شد.

Table 4. Average comparison of the measured parameters

Wp (kg/m ³)	Yield (ton/ha)	fruit weight (gram)	Fruit diameter (cm)	Number of fruits (number)	height (cm)	Experimental treatments	
3.81b	31.5a	90.3a	6.6a	9.3a	93.4a	(I3) ^{۱۰۰}	The amount of irrigation water (%)
4.18a	27.6a	82.4a	6.1a	8.4a	89.3a	(I2) ^{۸۰}	
3.11bc	15.4b	62.7b	5.2b	6.7b	72.5b	(I1) ^{۶۰}	
1.42d	11.7d	51.7d	4.8c	5.8d	70.3c	(SE1) ^۰	seaweed extract (gr/lit)
2.03c	16.7c	66.5c	5.4b	7.2c	78.5bc	(SE2) ^{۰,۰}	
2.98b	24.6b	81.3b	6.2ab	8.3b	86.4b	(SE3) ^{۱/۰}	
3.91a	32.3a	92.2a	6.8a	9.8a	97.8a	(SE4) ^۳	

Averages with the same letters do not have significant differences based on Duncan's test at the 5% probability level.

Table 5. Comparison of the average mutual effects of the amount of irrigation water and the amount of seaweed

Wp (kg/m ³)	Yield (ton/ha)	fruit weight (gram)	Fruit diameter (cm)	Number of fruits (number)	height (cm)	treatment
1.67ef	8.3e	45.3d	4.1e	5.1e	60.4d	I1SE1
1.94e	9.6e	50.6d	4.5e	5.7e	65.3d	I1SE2
2.76d	13.7d	56.4c	4.9d	6.2d	70.2c	I1SE3
3.53c	17.5bc	66.5bc	5.6bc	7.8bc	76.7c	I1SE4
1.59f	10.5	46.6d	4.5d	6.3d	70.6c	I2SE1
2.32d	15.3c	60.8c	5.2c	7.4c	74.5c	I2SE2
3.13c	20.7b	74.4b	5.8b	8.2b	81.3b	I2SE3
4.33a	28.6a	85.2a	6.9a	9.8a	95.7a	I2SE4
1.91e	15.7c	54.3c	5.7bc	7.8bc	80.2b	I3SE1
2.23de	18.4bc	70.5bc	6.1b	8.1b	84.6b	I3SE2
3.21bc	26.5ab	83.7ab	6.7ab	9.4ab	91.7a	I3SE3
3.97b	32.8a	92.5a	7.1a	10.5a	96.4a	I3SE4

Averages with the same letters do not have significant differences based on Duncan's test at the 5% probability level.

۳-۳- عملکرد: کاهش مقدار آب آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۸۰ و ۶۰ درصد به ترتیب باعث کاهش ۱۲/۴ و ۵۱/۱ درصدی عملکرد شد (جدول ۴). بیشترین مقدار عملکرد (۳۱/۵ تن در هکتار) از تیمار I3 (تیمار ۱۰۰ درصد آب آبیاری) به دست آمد که با تیمار I2 (۸۰ درصد آب آبیاری) تفاوت معنی دار مشاهده نشد. کاهش عملکرد می تواند به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از خاک و همچنین کاهش جذب دی اکسید کربن به دلیل بسته شدن روزنه ها در شرایط خشکی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات های تولید شده طی فرایند فتوسنتز باشد که در نهایت موجب کاهش عملکرد گیاه شده است (Mir et al., 2023). همچنین همان طور که توضیح داده شد، کاهش مقدار آب آبیاری قطر، وزن و تعداد میوه را کاهش داد که در نتیجه مقدار عملکرد نیز کاهش می یابد. کاهش عملکرد تحت تأثیر شرایط خشکی شدید می تواند تحت تأثیر رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی، متابولیسم نیتروژن و فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح باشد (Bandurska, 2022). کاربرد مقادیر مختلف جلبک دریایی باعث افزایش مقدار عملکرد شد. بیشترین افزایش عملکرد (۱۷۶/۱ درصد) در تیمار SE4 (مصرف ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی) مشاهده شد. تحقیقات نشان داد مصرف ۲۰ درصد جلبک دریایی باعث افزایش معنی داری در جوانه زنی بذر و عملکرد گیاه بامیه داشت (Jothinayagi and Anbazhagan, 2009). استفاده از جلبک دریایی به علت وجود هورمون های رشد در آن و اثر آن ها بر روند جذب و حرکت مواد غذایی در برگ شده که موجب افزایش عملکرد می شود (Sunarpi et al., 2010). اثرات متقابل آب آبیاری و جلبک دریایی باعث افزایش عملکرد فلفل شد (جدول ۵). با توجه به جدول (۵) می توان بیان کرد در تیمار آبیاری کامل (I3) تفاوت معنی داری بین کاربرد ۳ و ۱/۵ گرم در لیتر جلبک دریایی برای افزایش عملکرد مشاهده نشد. همچنین تفاوت معنی داری بین تیمارهای I2SE4 و I3SE4 مشاهده نشد. محققین بیان داشتند استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب افزایش

تحمل به تنش‌های خشکی، شوری و دمایی می‌شود (Craigie, 2011; Afaf et al., 2022). جلبک‌های دریایی مخلوطی از مواد آلی و معدنی هستند. مواد معدنی آن‌ها در درجه اول پتاسیم و مواد آلی شامل اسیدهای آمینه و آلژینیک اسید می‌باشد. در عصاره جلبک دریایی ۱۶ تا ۱۷ نوع اسید آمینه وجود دارد که مهمترین آن‌ها بتائین یا گلايسين بتائين است. این اسید آمینه دارای خواص اسمولیتی است که باعث تنظیم فشار اسمزی داخل سلول می‌شود. گلايسين بتائين باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش سرما و خشکی می‌شود (Ghaffari Nejad et al., 2020).

۴-۳- بهره‌وری مصرف آب آبیاری: مطابق جدول ۴ با کاهش آب آبیاری تا سطح ۸۰ درصد بهره‌وری مصرف آب آبیاری افزایش یافت. کاهش بیشتر آب آبیاری تا سطح ۶۰ درصد باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب آبیاری شد. علت آن به دلیل کاهش عملکرد در این تیمار می‌باشد. هر عاملی که بر روی عملکرد و میزان ماده خشک گیاه تأثیر منفی بگذارد، بر روی بهره‌وری آن نیز تأثیر منفی دارد. بنابراین کاهش مقدار آب آبیاری تا سطح ۶۰ درصد با توجه به این‌که عملکرد را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش بیشتر آن شده است، بهره‌وری مصرف آب را نیز کاهش می‌دهد. نتایج تحقیق با نتایج سایر محققین همخوانی دارد (Ferrara et al., 2011; Sajadi et al., 2020). محلول‌پاشی جلبک دریایی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب آبیاری شد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۳/۹۱ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۳ گرم در لیتر جلبک دریایی به دست آمد (جدول ۴). مطابق جدول ۵ مقادیر بهره‌وری مصرف آب آبیاری از ۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار I1SE1 تا ۴/۳۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار I2SE4 متغیر بود. در تمامی تیمارها محلول‌پاشی جلبک دریایی بهره‌وری مصرف آب را نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش داد.

به طور کلی نتایج نشان داد اگر چه کم‌آبیاری تا سطح ۸۰ درصد موجب کاهش عملکرد گیاه فلفل دلمه شد، اما با توجه به این‌که این کاهش معنی‌دار نبوده است و باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب آبیاری شده است، می‌توان به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب و هزینه کاربرد آن، مقدار آب مصرفی را به مقدار ۲۰ درصد کاهش داد. نتایج سایر محققین نیز نشان داده است با توجه به حساس بودن گیاه فلفل دلمه به تنش آبی، می‌توان مقدار آب را به اندازه ۲۰ درصد کاهش داد بدون آن‌که کاهش معنی‌داری در عملکرد مشاهده شود (Celebi, 2018; Owusu-Sekyere et al., 2010; Wang et al., 2022; Jafari et al., 2022).

۵-۳- طول و حجم ریشه: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس صفات ریشه (جدول ۳) نشان داد بین صفات ریشه در تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک و پنج درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. شکل ۲ و ۳ مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل مقدار آب آبیاری و عصاره جلبک دریایی را بر اندازه طول و حجم ریشه فلفل دلمه‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۲ مشاهده می‌شود با کاهش مقدار آب آبیاری طول ریشه کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین تیمار آبیاری کامل و آبیاری ۸۰ درصد مشاهده نشد. اعمال تنش آبیاری باعث تغییرات آناتومیکی مضری در سامانه ریشه مانند از بین رفتن اپیدرم، کورتکس و شادابی ریشه می‌شود که در نهایت کاهش جذب آب و مواد مغذی را به دنبال دارد (Sepaskhah and Ahmadi, 2010). پژوهش‌ها نشان داده است که کاهش رشد ریشه در شرایط کم‌آبیاری ممکن است به علت از دست رفتن اتساع سلولی و کاهش فعالیت میتوزی یا مهار تولید سلول‌ها باشد (Shah et al., 2008). در شرایط تنش خشکی، تغییرات فشار آماس در سلول‌های ریشه در توقف رشد طولی آن‌ها نقش به‌سزایی دارد، به‌طوری‌که با کمبود آب پیوندهای موجود در دیواره سلول‌های ریشه سخت‌تر شده و در نتیجه توسعه‌پذیری، رشد طولی و تجمع ماده خشک ریشه محدود می‌شود (Hosseinzadeh et al., 2016). اسدی و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند کم‌آبیاری باعث کاهش حجم و طول ریشه رزماری گردید. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش طول و حجم ریشه شد. بیشترین

طول (۵۱/۶ سانتی متر) و حجم (۱۰۳/۵ سانتی متر مکعب) ریشه با محلول پاشی ۳ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به دست آمد. اثرات متقابل آب آبیاری و عصاره جلبک دریایی (شکل ۳) نشان داد مصرف جلبک دریایی در تمامی تیمارها باعث افزایش طول و حجم ریشه نسبت به تیمار شاهد شد و اختلاف معنی دار بین تیمارها وجود داشت. با افزایش مصرف عصاره جلبک دریایی و افزایش مقدار آب آبیاری طول و حجم ریشه گیاه افزایش یافت. بیشترین مقدار طول (۵۱/۷ سانتی متر) و حجم (۱۰۵/۶ سانتی متر مکعب) ریشه از تیمار I3SE4 به دست آمد. محققان بیان داشتند هورمون های گیاهی موجود در عصاره جلبک دریایی (اکسین و سیتوکینین) عامل اصلی در افزایش معنی دار طول، وزن و حجم ریشه گیاهان می باشد (Ramarjan et al, 2012). یکی از ترکیبات موجود در عصاره جلبک دریایی آلجیناز می باشد که نقش مستقیم در ژله ای شدن دیواره سلولی و افزایش توسعه پذیری آن دارد. بنابراین استفاده از عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش آبی می تواند منجر به کاهش اثرات منفی تنش در جهت سخت شدن دیوار سلولی و کاهش رشد طولی گردد (Zodape et al., 2001).

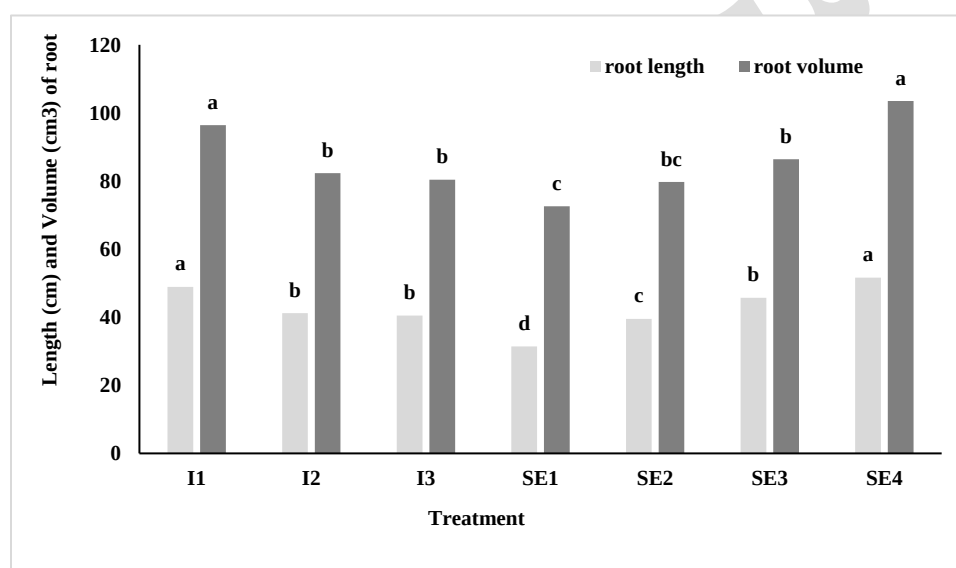


Figure 2. Simple effects of irrigation water amount and seaweed extract on pepper plant root length and volume

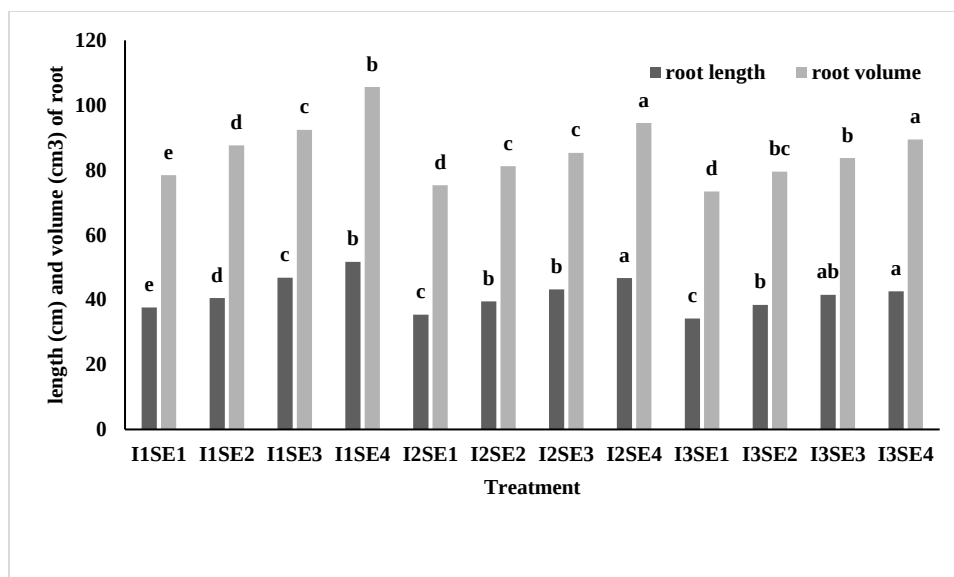


Figure 3. The mutual effects of irrigation water and seaweed extract on the length and volume of pepper plant roots

۳-۶- سرعت رشد محصول (CGR): پارامتر سرعت رشد یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان زراعی همبستگی بالایی دارد و عبارت است از افزایش وزن ماده خشک یک جامعه گیاهی در واحد سطح و در واحد زمان و معمولاً بر حسب گرم بر متر مربع در روز بیان می‌شود (Javadi *et al.*, 2007). شکل (۴) تغییرات سرعت رشد محصول را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تیمارهایی که آبیاری کامل و جلبک دریایی استفاده شده است، سرعت رشد گیاه بیشتر است. بیشترین سرعت رشد گیاه در تیمار I3SE4 (۵۰ گرم بر متر مربع در روز) و ۸۰ روز بعد از سبز شدن گیاه مشاهده شد. مطالعات در زمینه استفاده از عصاره جلبکی نشان داد که کاربرد این عصاره باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی، رشدی و عملکردی گندم شد (Kumar and Sahoo, 2011). در مطالعه دیگر گزارش شد که تلقیح جلبک‌ها در محیط‌های غذایی کشت گیاهان منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشدی گیاه می‌شود (Caffagni *et al.*, 2015). سرعت رشد محصول زیاد، به معنی تجمع ماده‌ی خشک زیاد و عملکرد بیشتر می‌باشد. در مورد منحنی سرعت رشد محصول به‌دست آمده می‌توان گفت در اوایل رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم جذب نور توسط گیاه سرعت رشد محصول پایین است و با نمو گیاه و توسعه سطح برگ و جذب بیشتر نور افزایش سریعی در سرعت رشد محصول حاصل می‌شود. بعد از این سیر صعودی و وقتی سرعت رشد محصول به حداکثر رشد خود رسید، روند نزولی می‌شود. این روند نزولی در ابتدا با شیب ملایم و سپس با سرعت بیشتری ادامه می‌یابد تا با رسیدن به پایان عمر گیاه به صفر نزدیک می‌شود. در تحقیقی در خصوص بررسی اثرات شوری آب بر شاخص‌های رشدی سوگوم نتایج مشابه به‌دست آمد (Piri *et al.*, 2018).

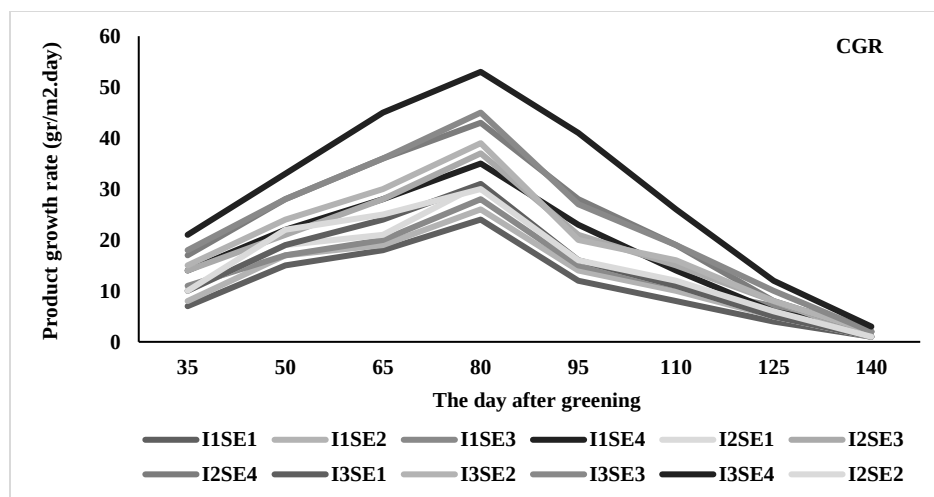


Figure 4. Changes in crop growth rate in different treatments

۳-۷- سرعت رشد نسبی محصول (RGR): سرعت رشد نسبی بیان‌کننده میزان افزایش وزن خشک گیاه نسبت به وزن خشک اولیه آن در واحد زمان می باشد. معمولاً بر حسب گرم در گرم در روز بیان می شود. هرگاه لگاریتم طبیعی وزن نسبت به زمان رسم شود، سرعت نسبی رشد شیب آن خط خواهد بود. شکل (۵) تغییرات سرعت نسبی رشد محصول در تیمارهای مختلف را نشان می دهد. با توجه به شکل ۵ مشاهده می شود عصاره جلبک دریایی باعث افزایش سرعت رشد نسبی گیاه شده است. در هر سه سطح آبیاری تیمار شاهد که از عصاره جلبک دریایی استفاده نکرده است، سرعت رشد نسبی کمتری داشته است. Basimfar *et al.* (2016) بیان داشتند محلول پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد گیاه ماش شد. همچنین ملاحظه می شود سرعت نسبی رشد محصول با گذشت زمان به صورت خطی کاهش یافته است. علت کاهش سرعت رشد نسبی محصول این است که هر چند مقدار وزن ماده خشک گیاه با گذشت زمان افزایش می یابد اما سرعت افزایش به دلیل افزایش بافت های بالغ به بافت های مریستمی کاهش می یابد. از طرفی بخش از این کاهش می تواند مربوط به در سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ های پایینی گیاه باشد، که باعث کاهش فتوسنتز می شود (Piri *et al.*, 2018). Moghimi and imam (2013) در تحقیقات خود به نتیجه مشابه دست یافتند و بیان داشتند سرعت نسبی رشد با گذشت زمان به صورت خطی کاهش می یابد.

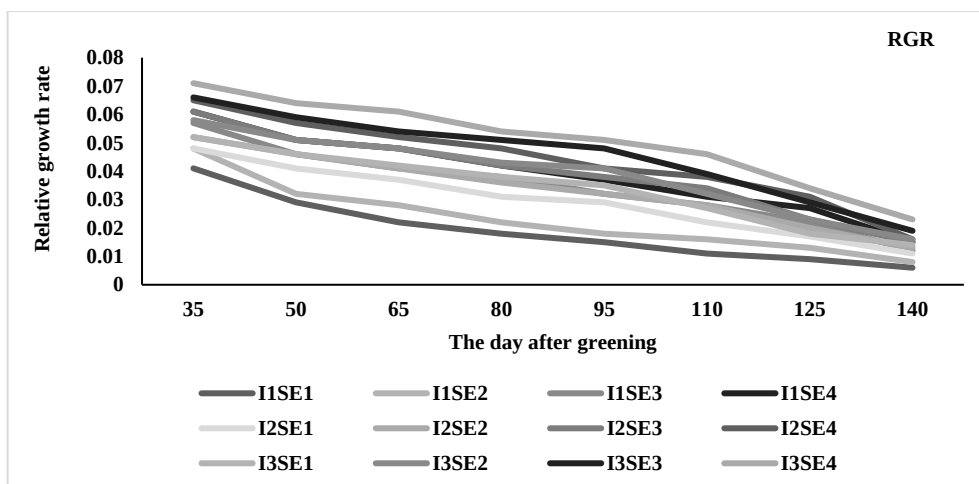


Figure 5. Changes in the relative speed of crop growth in different treatments

۳-۸- شاخص سطح برگ (LAI):

سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم رشد است که از آن به عنوان معیار اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی استفاده می‌کنند. سطح برگ با عملکرد بیولوژیک و اقتصادی مرتبط بوده و افزایش آن باعث دستیابی به عملکرد بالا می‌شود (Moradi et al., 2018). تغییرات شاخص سطح برگ در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند شاخص سطح برگ در همه تیمارها مشابه است. حداکثر شاخص سطح برگ در هر چهار تیمار تقریباً ۸۰ روز بعد از سبز شدن حاصل گردید. کاهش مقدار آب آبیاری و عدم مصرف جلبک دریایی کاهش شاخص سطح برگ را در پی داشت. با افزایش مقدار آب آبیاری و افزایش مصرف عصاره جلبک دریایی شاخص سطح برگ افزایش یافت. افزایش سطح برگ با افزایش مصرف جلبک دریایی می‌تواند به دلیل وجود هورمون سیتوکینین باشد. اثر مثبت محلول‌پاشی جلبک دریایی در افزایش سطح برگ تاج‌خروس در تحقیق Sridhar et al. (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است.

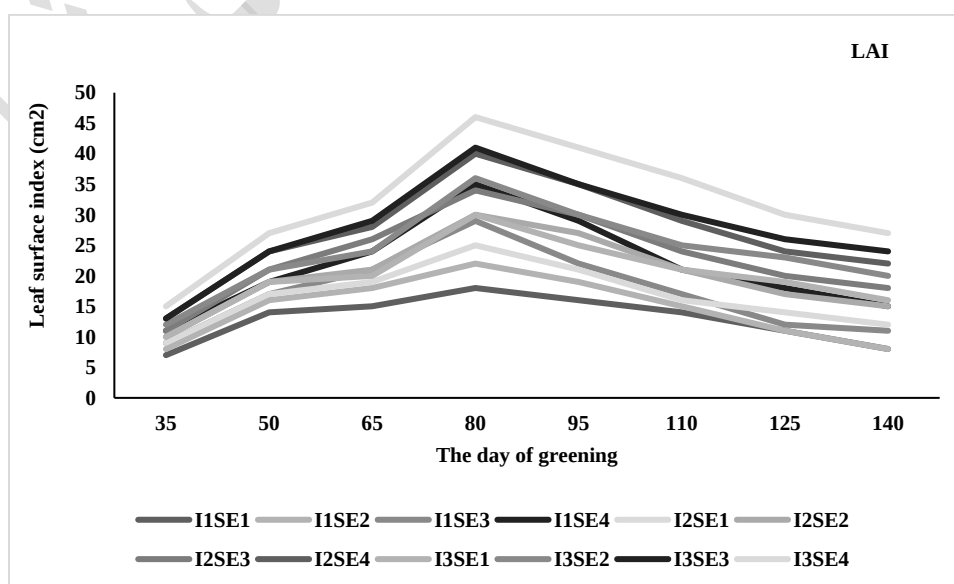


Figure 6. Changes in leaf surface index in different treatments

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق ویژگی‌های مورفولوژیک نظیر ارتفاع بوته، قطر، طول و وزن میوه، طول و حجم ریشه، شاخص سطح برگ، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه فلفل دلمه تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثرات متقابل تنش و عصاره جلبکی بر صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. عصاره جلبک دریایی به تنهایی موجب افزایش معنی‌دار پارامترهای اندازه‌گیری شده شد. کاربرد عصاره جلبکی در سطوح ۰/۵، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، قطر، طول و وزن میوه، طول و حجم ریشه، شاخص سطح برگ، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه فلفل دلمه داشت. در بررسی اثرات تنش کم‌آبی مشاهده شد که کاهش مقدار آب آبیاری باعث کاهش پارامترهای مذکور شد اما تفاوت معنی‌داری بین تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد. با افزایش شدت تنش از ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تمامی صفات مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشتند. بنابراین با توجه به بالاتر بودن بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد این تیمار به عنوان تیمار آبیاری برتر انتخاب می‌گردد. محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی با بهبود روابط آبی، جلوگیری از تجزیه کلروفیل، حفظ آماس برگ و حفظ پایداری غشا سبب افزایش رشد گیاه فلفل دلمه در شرایط تنش خشکی شد. عصاره جلبک دریایی حاوی ترکیب پیچیده‌ای از پلی‌ساکاریدها، عناصر غذایی کم‌مصرف، هورمون‌های گیاهی است که سبب تحریک رشد گیاه و مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود. با توجه به این‌که بیشترین عملکرد و پارامترهای رشدی و بهره‌وری مصرف آب از تیمار ۳ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به دست آمد، این تیمار برای محلول‌پاشی انتخاب می‌گردد. پیشنهاد می‌گردد با توجه به وجود تنش خشکی در اکثر نقاط کشور، از عصاره جلبک دریایی برای کاهش اثرات تنش خشکی بر گیاهان استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود تأثیر انواع و غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی طی پژوهش‌های چند ساله و در زمان‌های مختلف رشد گیاهان مورد بررسی قرار گیرد. از موارد دیگری که می‌تواند در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد، بررسی اقتصادی محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی می‌باشد.

۵- تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. کد پژوهانه IR-UOZ-GR-1837

۶- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷- منابع

- Afaf, H., Eglal, M., & Abdelgawa, Z.A. (2022). The role of seaweed extract on improvement drought tolerance of wheat revealed by osmoprotectants and DNA (cpDNA) markers. *Brazilian Journal of Botany*, 45, 857–867.
- Amani Andabili, M., Hassanpour Asil, M., Olfati, J. A., & Navabian, M. (2024). Effect of Regulated Irrigation Levels on Yield of Greenhouse Bell Pepper (*Capsicum annuum* cv. Nirvin). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(18), 683-698. (In Persian)
- Amini Fard, M. H. & Khandan, S. (2019) Investigation of the effect of different concentrations of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on growth, yield and biochemical traits of bitter melon (*Momordica charantia* L.), *Journal of Plant Environmental Physiology*. 13, 56-66. (In Persian)
- Asadi, R., Hassan Pour, F., Mehrabani, M., Baghizadeh, A., & Karandish, F. (2018). Investigation the effect of deficit irrigation on root distribution and vegetative growth of *Rosmarinus officinalis* L. *Water and Irrigation Management*, 289-301. (In Persian)
- Bandurska, H. (2022) Drought stress responses: Coping strategy and resistance . *Plants*, 11, 922.
- Basimfar, R., Nasri, M. & Zargari, K. (2016). Effect of sea alga extract and vermicompost on yield and plant growth indices of mung bean. *Journal Crop Production Research*, 8(1), 55-71.
- Bindhu, K.B. 2013. Effect of Azolla extract on growth performance of *Pisum sativum*. *Journal of Biological Sciences*, 2(10), 88-90.
- Caffagni, d.e., Camargo, E., Casali, C.A., Lombardi, A.T. & Lima, M.I.S. (2015). Coupling microalgal cultures with hydroponics: Prospection for clean biotechnology processes. *Journal of Algal Biomass and Utilization*. 6: 88-94.
- Cantürk, A., Cemek, B., Taşan, M. and Taşan, S. (2023). Effect of deficit irrigation on yield, water productivity, energy indices and economic productivity in eggplant cultivation. *Gesunde Pflanzen*. 75, 1579-1589.
- Celebi, M. (2018). The effects of water stress on yield performance of drip-irrigated pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carya var. Yalova yağlık 28) in the Central Anatolian region of Turkey. *Arab Journal Geoscience*, 8.
- Craigie, J.S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*. 23, 371–393.
- Del Poso, A., Perez, P., Gutierrez, D., Alonso, A., Morcuende, R. & Martinez Carrasco, R. (2007) Gas exchange acclimation to elevated CO₂ in upper-sunlit and lower-shaded canopy leaves in relation to nitrogen acquisition and partitioning in wheat grown in field chambers. *Environmental and Experimental Botany*, 53, 371-380.
- El-Miniawy, S. M., Ragab, M. E., Youssef, S. M. & Metwally, A. A. (2014) Influence of foliar spraying of seaweed extract on growth, yield and quality of strawberry plants. *Journal of Applied Sciences Research* 10: 88-94.
- Eshghi, S., Moharami, S. & Jamali, B. (2017). Effect of salicylic acid on growth, yield and quality of strawberry Fruit of Parus cultivar under salinity conditions. *Soil Plant Interac*. 7:, 28. 163-173.
- FAOSTAT, F. (2018). statistical Databases, Fisheries Data, 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Fateh, M., Barzegar, T., & Razavi, F. (2016). The effect of foliar spraying of ascorbic acid and calcium lactate on the growth, yield and quality of sweet pepper fruit. *Horticultural sciences (agricultural sciences and industries)*, 33(1), 87-79.
- Ghaffari Nejad, S. A., Nourghooli Pour, F., & Gheibi, Gheibi. (2020). Biostimulants and their Roles in Plant Physiology, Nutrient Absorption, and Tolerance to Abiotic Stresses. *Journal of land Management*, 8(1), 48-67. (In Persian)
- Ghahremani, Z., Alizadeh, B., Barzegar, T., Nikbakht, J., Ranjbar, M. E. & Nezamdoost, D. (2023). The mechanism of enhancing drought tolerance threshold of pepper plant treated with putrescine and salicylic acid. *Plant Stress*. 9, 100199.

- Haghparsat, M., S. Maleki-Farahani, J.M. Sinaki & G. Zarei. (2012). Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. *Crop Production and Regulation under Environmental Stress*, 4, 59–71
- Hassan, F., Ali, E. F. & El -Zahrany, O. M. (2013) Effect of amino acids application and different water regimes on the growth and volatile oil of *Rosmarinus officinalis* L. plant under Taif region conditions. *European Journal of Scientific Research*, 101, 346 -359.
- Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M.A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G.(2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Appl. Phycol.* 26: 619–62.
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. & Ismaili, A. (2017). Nutrition and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to vermicompost fertilizer and water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40, 2259-2268.
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost extract on germination characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research*, 29, 589 - 598.
- Ismailpour, B., Fatemi, H., Moradi, M. (2019). The effect of seaweed extract on the physiological and biochemical parameters of basil (*Ocimum basilicum* L) under water stress conditions. *Science and techniques of greenhouse crops*. 11(1), 59-69. (In Persian)
- Jafari, M.S., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2022). Determining the water requirement and Applied water of bell pepper in the greenhouse and comparing it with the results of the water requirement system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1831-1848. (In Persian)
- Javadi, H. Rashed Mohasel, M.H. Zamani, Gh.R. Azari Nasr Abadi, E. & Musavi, Gh.R. (2007). Effect of plant density on growth indices in four grain sorghum cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 4, 265 – 253. (In Persian)
- Jothinayagi, N. & Anbazhagan, C. (2009) Effect of seaweed liquid fertilizer of *Sargassum wightii* on the growth and biochemical characteristics of *Abelmoschus esculentus* (L.) Medikus. *Recent Research in Science and Technology*, 1, 155-158.
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T. J. Craigie, S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts asbiostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulations*, 28, 386-399.
- Khazaei, Z., Esmaelpour, B. & Estaji, A. (2020). Ameliorative effects of ascorbic acid on tolerance to drought stress on pepper (*Capsicum annuum* L) plants. *Physiology & Molecular Biology of Plants*, 26(8), 1649.
- Kumar, G. & Sahoo, D. (2011). Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. *Journal of Applied Phycology*. 23, 251-255.
- Kumari, R., Kaur, I. & Bhatnagar, A. K. (2011). Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell and Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of Applied Phycology*, 23 (3), 623-633.
- Mattner, S.W., Wite, D., Riches, D.A., Porter, I.J., & Arioli, T. (2013). The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol. Agric. Hort.* 29: 258–270.
- Moghimi, N. & imam, Y. (2013). Investigating the morphophysiological characteristics and yield of two forage sorghum cultivars under water stress and nitrogen levels. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 6(1):36-27. (In Persian)
- Moradi F., Najafi, Sh., & Esmaeilzadeh Bahabadi, S. (2018). The effect of green algae (*Ulva fasciata* L.) extract on growth and physiological parameters of *sesamum indicu*. 8(33),1-14.
- Morales Payan, J. P. & Stall, W. M. (2003) Papaya (*Carica papaya*) response to foliar treatments with organic complexes of peptides and amino acids. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 116, 30-32.

- Norrie, J. & Keathley, J. (2006). Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. *Acta Horticultural*. 727, 243–245.
- Owusu-Sekyere, J. D., Asante, P., & Osei-Bonsu, P. (2010). Water requirement, deficit irrigation and crop coefficient of hot pepper (*Capsicum frutescens*) using irrigation interval of four (4) days. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(5), 72–78
- Parkash, V., Singh, S., Deb, S. K., Ritchie, G. L. & Wallace, R. W. (2021). Effect of deficit irrigation on physiology, plant growth, and fruit yield of cucumber cultivars. *Plant Stress*.1,100004.
- Payero J.O., Melvin S.R., Irmak S., & Tarkalson D. (2009). Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*. 84,101–112.
- Piri, H., Ansari, H., & Faridhosseini, A.R. (2018). Investigation of the Irrigation Management with Saline Water on Sorghum Yield and Growth Indices. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(4),31-46. (In Persian)
- Piri, H., Naserin, A. & Albalasmeh, A. A. (2022). Interactive effects of deficit irrigation and vermicompost on yield, quality, and irrigation water use efficiency of greenhouse cucumber. *Journal of Arid Land*. 14, 1274–1292.
- Rubio, J. S., García-Sánchez, F., Flores, P., Navarro, J. M., & Martínez, V. (2010). Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca^{2+} and K^{+} . *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1),170-177.
- Sajadi, F., Hezarjaribi, A., & Jamali, S. (2020). The effects of different irrigation regimes on yield and yield components Of Sweet pepper (*Capsicum annum*) under greenhouse conditions. *Irrigation and water engineering of Iran*, 11(41),21-332. (In Persian)
- Sarhan, T.Z., Ali, S.T., & Rasheed, S.M.S. (2011). Effect of bread yeast application and seaweed extract on cucumber (*Cucums sativus* L.) plant growth, yield and fruit quality. *Journal Agriculture*. 39, 26–34.
- Sepaskhah, AR., & Ahmadi, SH. (2010) A review on partial root-zone drying irrigation. *Plant Production*. 4(4), 241-258. (In Persian)
- Shah, FR., Ahmad, N., Masood, KR., & Zahid, DM. (2008) The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo roxb.*) seedlings. *Pakistan Botany*. 40 (4), 1341-1348.
- Sharma, S. H. Lyons, G., Mc Roberts, C., Swan, D., McCormack, R., & Mellon, R. (2012). Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigno mungo* L.) and pak choi (*Brassica Rapa chinensis* L.). *Journal of Applied Phycology*. 24,1081–1091.
- Sibi, M., Khazaei, H. R. & Nezami, A. (2016) Effect of concentration, time and method of consumption of seaweed extract on some morphological characteristics of safflower root and shoot. *Journal of Plant Physiology*, 8, 5-21.
- Sridhar, S. & Rengasamy. R. (2011). Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings. *International Journal of Development Research*,7, 55–57.
- Sridhar, S. & Rengasamy, R. (2011) Effect of seaweed liquid fertilizer on growth, pigment concentration and yield of *Amaranthus rosburghinus* and *Amaranthus tricolor* under field trial. *Journal of Current Research*, 3 , 131 -134
- Wang, H., Xiang, Y., Zhang, F., Tang, Z., Guo, J., Zhang, X., Hou, X., Wang, H., Cheng, M., & Li, Z. (2022). Responses of yield, quality and water-nitrogen use efficiency of greenhouse sweet pepper to different drip fertigation regimes in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 260, 107279.
- Xu, C. & Leskovar, D. (2015) Effects of *A nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition valued under drought stress. *Scientia Horticulturae* 183, 39-47.
- Xu, C. & Leskovar, D. I. (2014). Growth, physiology and yield responses of cabbage to deficit irrigation. *Horticultural Science*. 41 (3), 138–146.
- Zodape, S.T. (2001). Seaweeds as a biofertilizer. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 60, 378-382.

Zodape, S.T., Mukhopadhyay, S., Eswaran, K., Reddy, M.P. & Chikara, J. (2010). Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69, 468–471.

The effect of brown seaweed extract on reducing the effects of water stress in sweet pepper

Sadegh Askari Dehno¹, Farzad Hassanpour², Halimeh piri²¹, Eisa Khammari³

1-Phd student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: askari_sami@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran . Email: hassanpourrir@uoz.ac.ir; H_piri2880@uoz.ac.ir

3- Associate Professor, Department of agriculture, Faculty of agricultural, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: ikhammari@uoz.ac.ir

Abstract

This research was conducted in order to investigate the effect of seaweed extract on the yield and water use productivity of sweet pepper under water stress. So far, no research has been conducted in this field in the Sistan Plain. The present research was conducted in February 2024 in a research farm located in Zahak city in the form of a split plot design in the form of a randomized complete block in three replications. The treatments include 3 levels of irrigation water amount (I1, I2, I3, respectively equivalent to 60, 80 and 100% of the field capacity of the soil) and spraying different concentrations of seaweed extract (SE1, SE2, SE3 and SE4, respectively equivalent to 0, 0.5, 1.5 and 3 gr/lit). Foliar spraying of zero treatment (control treatment without seaweed) was done with distilled water. Sampling of the treatments was done in order to determine their appearance characteristics in time intervals once every two weeks and during the growth period of sweet pepper. These parameters included plant height and leaf area index. The first fruit harvest was done in the middle of May 2024 and a total of 8 harvests were done. The results showed that the effect of seaweed and irrigation water on the measured parameters was significant at the probability level of one and five percent. The highest yield and its components were obtained from the 100% water requirement treatment, which was not significantly different from the 80% water requirement treatment. The use of seaweed extract reduced the negative effects of drought stress. The most positive effect of seaweed extract was obtained from the treatment of 3 grams per liter of seaweed extract. The highest height (96.4 cm), fruit diameter (1.7 cm), fruit weight (92.5 gr), yield (32.8 ton/ha), root volume (105.6 cm³) cube) and root length (51.7 cm) was obtained from I3SE4 treatment, which was not significantly different from I2SE4 treatment. Considering that the highest water productivity (4.33 kg/m³) was obtained from I2SE4 treatment, therefore this treatment (consumption of 3 gr/lit of seaweed extract and the amount of irrigation water equal to 80% of the field capacity of the soil) is introduced as the best treatment.

Key words: Crop growth rate, Leaf area index, Yield, Water productivity.

*H_piri2880@uoz.ac.ir