مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۷ شماره ۱ صفحه‌های ۱۷ تا ۳۴ (۱۴۰۵)
مقاله پژوهشی

اثر محرک زیستی جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر ویژگی‌های عملکردی، فتوسنتزی و جذب عناصر خیار در شرایط کمبود منیزیم

The Effect of Seaweed Biostimulant and Magnesium Aminochelate on Yield, Photosynthetic and Nutrient Uptake Characteristics of Cucumber under Magnesium Deficiency Conditions

علی کرمی[۱]، ادریس شعبانی *[۲]، ناصر عالم زاده انصاری[۳]
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (edris.shabani@scu.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

چکیده

مصرف بی‌رویه کودهای با پتاسیم بالا جهت بهبود وزن و رنگ میوه در واحدهای گلخانه‌ای ایران، کمبود منیزیم را به یک چالش بزرگ تبدیل کرده است. این مشکل با کیفیت پایین آب آبیاری که با سطوح بالای بی‌کربنات و شوری مشخص می‌شود و همچنین با رقابت زیاد برای جذب مواد مغذی بین بخش‌های رویشی و زایشی در اواسط فصل، تشدید می‌شود. شدت نور بالا در گلخانه‌های جنوب ایران به دلیل افزایش در نرخ فتوسنتز و تولید کربوهیدرات، نیاز گیاه به منیزیم را افزایش داده و کمبود آن را تشدید می‌کند. در این راستا آزمایشی به‌منظور امکان بهبود شاخص‌های عملکردی، فتوسنتزی و جذب عناصر خیار با استفاده از محرک‌های زیستی جلبک دریایی قهوه‌ای (*Sargassum angustifolium*) و آمینوکلات منیزیم در شرایط کمبود منیزیم در پاییز و زمستان ۱۴۰۱ در گلخانه آموزشی-پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف جلبک‌دریایی (۰، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) به‌عنوان کرت اصلی و آمینوکلات منیزیم (۰، ۲/۵ و ۵ میلی‌لیتر در لیتر) به‌عنوان کرت فرعی بود. محلول‌پاشی جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم دو هفته بعد از انتقال نشاء آغاز و تا یک هفته قبل از پایان برداشت به‌صورت هر هفته یکبار ادامه داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از تیمار ۳ گرم در لیتر جلبک‌دریایی و ۵ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات منیزیم ($G_3 \times Mg_5$) در قیاس با تیمار شاهد ($G_0 \times Mg_0$) به‌ترتیب سبب افزایش ۱۸۶/۲۷ درصدی کلروفیل a و ۱۵۱/۱۹ درصدی کلروفیل کل گردید. همچنین بیشترین میزان نرخ فتوسنتز با ۱۰/۰۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در تیمار $G_3 \times Mg_5$ و کمترین میزان آن در تیمار شاهد با ۳/۵۳ میکرومول بر مترمربع در ثانیه مشاهده گردید. بیشترین و کمترین میزان عملکرد با ۳۰۳۸ و ۱۵۰۳ گرم در بوته به‌ترتیب در تیمارهای $G_3 \times Mg_5$ و $G_0 \times Mg_0$ مشاهده گردید که سبب افزایش ۱۰۲ درصدی عملکرد گردید. در تمام سطوح جلبک دریایی با افزایش سطح محلول‌پاشی آمینوکلات منیزیم غلظت این عنصر در برگ خیار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌گونه‌ای که محلول‌پاشی تیمار $G_3 \times Mg_5$ در قیاس با تیمار شاهد سبب افزایش ۱۱۵ درصدی غلظت منیزیم برگ خیار گلخانه‌ای گردید. با توجه به نتایج آزمایش حاضر، استفاده از مقادیر سه گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* و پنج میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات منیزیم برای بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک، فتوسنتزی و عملکردی خیار گلخانه‌ای در شرایط کمبود منیزیم توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: جلبک دریایی، خیار، کشت بدون خاک، کلروفیل، عملکرد، منیزیم.

مقدمه

خیار با نام علمی *Cucumis sativus* L. از تیره کدوسانان و جزء مهم‌ترین سبزی‌های میوه‌ای در دنیا می‌باشد. خیار به دلیل دارا بودن کالری کم، ویتامین‌ها و املاح کافی و طعم مناسب آن از اجزاء مهم رژیم غذایی در دنیا می‌باشد (Hu *et al.*, 2011). همچنین خیار به علت محتوای آب بالا مدر است و ضمن پاکسازی بدن، اسید اوریک و مواد زاید انباشته شده را از بین می‌برد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

خیار میزان پتاسیم و منیزیم بالایی دارد که به تنظیم فشار خون کمک می‌کند (Badgery-Parker *et al.,* 2015). در سال ۲۰۲۳، ایران در رتبه سیزدهم تولید خیار تازه در جهان قرار گرفت و ۰/۴۵ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داد. تولید خیار تازه ایران در ۵ سال گذشته ۳۷/۷۴ درصد کاهش یافته و از ۷۰۳۵۸۷ تن در سال ۲۰۱۹ به ۴۳۸۰۷۸ تن در سال ۲۰۲۳ رسیده است (FAO, 2023). از دلایل کاهش آن می‌توان به گرانی بذر و نهاده‌های کشاورزی، عمر انباری پایین محصول، فواصل دور بازارهای هدف و افت شدید کیفیت و کمیت محصول حین جابجایی، پیشرفت محسوس کشورهای رقیب در منطقه، کمبود نیروی انسانی پس از اخراج اتباع و کشت محصولات سودآور با قابلیت صادرات مانند فلفل دلمه‌ای اشاره کرد.

به دلیل عدم دسترسی به خاک مناسب، کشت بدون خاک به عنوان یک راه‌حل جایگزین ممکن برای کشت حفاظتی پایدار پیشنهاد شده است. کشت بدون خاک قابلیت‌هایی مانند کنترل دسترسی به آب، pH و غلظت مواد مغذی در ناحیه ریشه را ارائه می‌دهد. رشد محصولات گیاهی از جمله خیار در محیطی غیر از خاک باعث کنترل بهتر تغذیه گیاه و بیماری‌ها می‌شود (Olympious, 1992). تعادل مطلوب تغذیه‌ای در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی باعث رشد مناسب خیار می‌شود. خیار نیاز زیادی به عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد دارد. کمبود منیزیم بیشتر در خاک‌های هوازده با اسیدیته بالا رخ می‌دهد (Wang *et al.,* 2019). اما در سیستم‌های کشت بدون خاک به‌دلیل رقابت بین عناصر (پدیده آنتاگونیسم)، ناپایداری pH محلول غذایی نسبت به کشت خاکی، غلظت ناکافی آن در محلول غذایی و امکان شستشوی یون‌ها، کمبود منیزیم رایج‌تر از کشت‌های خاکی است (Shokohian, 2005).

منیزیم نقش مهمی در بسیاری از عملکردهای فیزیولوژیکی گیاهان دارد. این عنصر در تشکیل و توسعه دانه‌ها و ریشه‌ها نقش حیاتی دارد (Ceylan *et al.,* 2016). عمده‌ی آنزیم‌های گیاه توسط منیزیم فعال می‌شوند، در برخی آنزیم‌ها نظیر ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز وجود کاتیونی مثل منیزیم برای اتصال بین آنزیم و ماده اولیه لازم است (Ding *et al.,* 2008). منیزیم برای آنزیم پلی‌مراز ضروری است و از همین طریق به تشکیل RNA در هسته کمک می‌کند. به‌عبارتی عنصر منیزیم باعث برقراری پیوند بین رشته‌های مجزای DNA و خنثی کردن پروتئین‌های موجود در زمینه هسته می‌شود. همچنین عنصر منیزیم به عنوان اتم مرکزی مولکول کلروفیل است (Ding *et al.,* 2008). براساس وضعیت تغذیه‌ای گیاه بین ۲۵-۶ درصد کل منیزیم در کلروفیل قرار دارد و بقیه (۵ تا ۱۰ درصد) در پکتات دیواره سلولی برگ‌ها وجود دارد و یا به شکل نمک‌های کم محلول در واکوئل رسوب می‌کند. معمولاً منیزیم ذخیره شده در واکوئل برای پایداری و توازن کاتیون-آنیون و تنظیم تورم سلولی ضروری است (Tumer *et al.,* 2010). به‌هم‌آوری زیرواحدهای ریبوزومی و تشکیل پروتئین از دیگر نقش‌های منیزیم در گیاه، می‌باشد (Maathuis, 2009). کمبود منیزیم با اثرگذاری بر اندازه، ساختمان و کارکرد کلروپلاست همراه است به این دلیل که بیش از ۲۵ درصد پروتئین‌های سلول‌های برگ در کلروپلاست قرار دارد (Marschner, 1995). همچنین به انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به اندامک‌های مخزن کمک می‌کند و کمبود آن باعث افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها در برگ‌های منبع می‌شود (Hermans *et al.,* 2004). در گیاهانی که کمبود منیزیم دارند، کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی شامل نشاسته و قندها در برگ‌ها انباشته می‌شود و ماده خشک گیاه افزایش می‌یابد. در این شرایط انتقال کربوهیدرات‌ها به ریشه کاهش و رشد آن‌ها به شدت کم می‌شود و در نتیجه نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه افزایش می‌یابد (Cakmak, 2008). مطالعات قبلی نشان داد که کمبود منیزیم از رشد ریشه جلوگیری می‌کند و در میتوکندری سلول‌های ریشه مانع فعالیت آنزیم‌های مختلف می‌گردد (Kayama *et al.,* 2005). برگ‌های دچار کمبود منیزیم به دلیل حساسیت زیاد به نور علائم کلروز و نکروز در آن‌ها با افزایش شدت نور، تشدید می‌گردد (Cakmak, 2008).

کاربرد کودها می‌تواند از طریق خاک و محلول‌پاشی روی محصولات کشاورزی انجام شود، اما محلول‌پاشی ساده و مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست است (Wasaya *et al.,* 2019; Toor *et al.,* 2020; Adnan, 2020). محلول‌پاشی برگی منیزیم نقش مهمی در چرخه فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان ایفا می‌کند (Adnan *et al.,* 2020). به‌عنوان نمونه، ترکیباتی را برای سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم نشاسته‌ها و انتقال انرژی فعال می‌کند، همچنین منیزیم به عنوان محرکی در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا در بافت‌های گیاه عمل می‌کند و مقاومت گیاه را در برابر خشکی افزایش می‌دهد (Adnan *et al.,* 2021). در مطالعه ای تأثیر محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی ذرت تحت تنش کمبود آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مصرف این عناصر باعث افزایش معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه،

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

طول بلال، تعداد دانه در بلال، میزان جذب پتاسیم، میزان جذب منیزیم، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید کل، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط کمبود آب گردید (Sotoodeh *et al.,* 2024). همچنین مطالعات دیگری درباره نقش مثبت منیزیم در رشد، عملکرد و خصوصیات فتوسنتزی و کیفی خیار، گوجه‌فرنگی، سیر، موز و اسفناج گزارش شده است (Adnan *et al.,* 2021).

محرک‌های زیستی موادی غیر از کودها و آفت‌کش‌ها هستند که از طریق افزایش کارایی مصرف مواد مغذی و انعطاف‌پذیری در برابر تنش غیرزیستی سبب دسترسی بیشتر عناصر غذایی در ناحیه ریزوسفر و تحریک رشد گیاه می‌شوند (Regulation, 2019; Rouphael & Colla, 2020). این ترکیبات می‌توانند مواد و یا میکروارگانیسم‌هایی باشند که رشد گیاه و تحمل به شرایط محیطی نامطلوب را افزایش دهند و استفاده کارآمد از منابع گیاهی را ترویج کنند (Yakhin *et al.,* 2017; Campobenedetto *et al.,* 2021). به‌عنوان مثال، محرک‌های زیستی از میکروارگانیسم‌ها، محصولات جانبی گیاهی یا حیوانی حاصل از صنایع غذایی و یا عصاره جلبک دریایی به‌دست می‌آیند.

جلبک‌ها می‌توانند به عنوان کودبیولوژیکی جهت محلول پاشی و به‌منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری در کشاورزی مورداستفاده قرار گیرند (Prakash *et al.,* 2014). در سال‌های اخیر عصاره جلبک دریایی به دلیل قابلیت‌های آن برای استفاده در کشاورزی ارگانیک و پایدار، محبوبیت خاصی به‌دست آورده است (Hassan *et al.,* 2021). برخلاف کودهای شیمیایی، عصاره حاصل از جلبک دریایی مانع از تخریب محیط زیست شده، غیرسمی است و برای انسان، حیوانات و پرندگان آلودگی خطرناکی ایجاد نمی‌کند (DelPoso *et al.,* 2007). جلبک دریایی به‌دلیل داشتن هورمون‌های رشد مانند سیتوکنین، ایندول۳-بوتریک اسید، ایندول استیک اسید و عناصری مانند منیزیم، آهن، مس، نیکل، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز، ویتامین‌ها و آمینواسیدها بر رشد گیاهان موثر است. علاوه بر این استفاده از عصاره جلبک دریایی به علت حضور گلایسین بتائین در سلول باعث کاهش اثرات سوء تنش‌های محیطی می‌شود (Shokoohifar *et al.,* 2015). همچنین عصاره جلبک دریایی از فیتوهورمون‌ها، استرول‌ها، کربوهیدرات‌ها، پلی‌ساکاریدها، قندها، پلی فنول‌ها، درشت و ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها، لیپیدها، اسیدهای آمینه، پپتیدها و پروتئین‌ها غنی‌شده است (Khan *et al.,* 2009; Shukla *et al.,* 2018). با توجه به موارد مطرح شده، عصاره جلبک دریایی دارای مواد مختلف از جمله شبه هورمون‌های محرک رشد، عناصر غذائی و انواع مواد ضد تنش می‌باشد که در رشد بهتر ریشه، افزایش جذب آب و املاح معدنی، افزایش میزان کلروفیل، افزایش گلدهی و تشکیل میوه، ایجاد مقاومت بیشتر در برابر تنش‌های محیطی و افزایش کمیت و کیفیت میوه تأثیر دارد (Saeed & Mirzaei, 2014).

محلول‌پاشی برگی کود کلات شده با اسیدهای آمینه می‌تواند میزان کلروفیل و متعاقباً فتوسنتز را افزایش دهد. با افزایش دسترسی به انرژی ناشی از افزایش فتوسنتز، گیاهان می‌توانند سریع‌تر و قوی‌تر رشد کنند. این شامل رشد برگ‌ها، ساقه‌ها، ریشه‌ها، گل‌ها و میوه‌های بزرگتر می‌شود (Tuna *et al.,* 2008). به نظر می‌رسد که مواد معدنی به دلیل وزن مولکولی بالای خود، به سختی از سطح برگ به گیاه منتقل می‌شوند. در مقایسه با منابع معدنی، مواد معدنی کلات شده با اسید آمینه، دسترسی، راندمان جذب و انتقال عناصر معدنی را در گیاهان افزایش می‌دهند (Jacob *et al.,* 2024). فراتر از افزایش عملکرد، کودهای آمینوکلات به‌طور مداوم ویژگی‌های کلیدی بیوشیمیایی و خصوصیات کیفی میوه را در گیاهان بهبود می‌دهند (Souri & Yarahmadi, 2016).

کمبود منیزیم به‌دلیل مصرف بی‌رویه کودهای با پتاسیم بالا جهت بهبود وزن و رنگ میوه در واحدهای تولید محصولات گلخانه‌ای ایران، به یک چالش بزرگ تبدیل شده است. از دلایل تشدید کاهش جذب منیزیم می‌توان به پایین بودن کیفیت آب آبیاری به دلیل میزان بالای بیکربنات و شوری آب و رقابت بالای بخش رویشی و زایشی برای جذب عناصر غذایی در میانه فصل رشد اشاره کرد. همچنین شدت نور بالای گلخانه‌های جنوب ایران سبب تشدید نیاز به منیزیم به‌دلیل افزایش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات می‌شود که از نتایج کمبود آن می‌توان به کاهش زنجیره انتقال الکترون و اختلال در تثبیت دی اکسیدکربن، عدم انتقال کربوهیدرات، تولید گونه های فعال اکسیژنی و کلروز برگ ها اشاره کرد (Karami *et al.,* 2023). بنابراین هدف از آزمایش حاضر امکان بررسی بهبود شاخص‌های فتوسنتزی، عملکردی و جذب عناصر خیار با استفاده از محرک‌های زیستی جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در شرایط کمبود منیزیم می‌باشد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر جلبک دریایی قهوه‌ای *Sargassum angustifolium* بومی خلیج فارس و آمینوکلات منیزیم بر ویژگی‌های عملکردی، فتوسنتزی و جذب عناصر خیار در شرایط کمبود منیزیم آزمایشی در پاییز و زمستان سال ۱۴۰۱ در مجتمع گلخانه‌ای گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. گلخانه فوق دارای تکنولوژی متوسط، فاقد سیستم حرارتی و با پوشش پلی‌کربنات بوده است. میانگین دما و رطوبت‌نسبی گلخانه در طول دوره آزمایش به ترتیب ۲±۲۴ درجه سلسیوس و ۵±۵۵ درصد بوده است. متوسط شدت نور در گلخانه ذکر شده در محدوده ۲۰±۸۲۰ $\mu mol\ m^{-2}.s^{-1}$ بوده است. در این پژوهش از بذور خیار رقم استرانگ‌سان (Strong Sun) شرکت رکزوان هلند استفاده شد که توسط شرکت سپاهان رویش اصفهان تامین گردید. این رقم میان‌گل و دارای دو تا سه گل در هر گره از ساقه می‌باشد، همچنین میوه‌های آن به شکل قلمی و به اندازه ۱۹-۱۵ سانتی‌متر می‌باشند. به‌منظور تولید نشاء از لیوان‌های یکبارمصرف حاوی کوکوپیت-پرلیت (۷۵:۲۵) استفاده گردید. فرآیند تولید نشاء تا ظهور سه تا چهار برگ حقیقی در یک اتاق تحت نور LED با ترکیب ۴۸ لامپ سفید (دو شاخه ۲۴ تایی)، ۲۴ لامپ قرمز و شش لامپ آبی (دو شاخه و هر شاخه با نسبت ۴:۱ قرمز به آبی) با فاصله ۳۰ سانتی‌متری از سطح نشاء و با شدت نور ۲۰±۲۵۰ $\mu mol\ m^{-2}.s^{-1}$ و متوسط دمای روزانه ۲±۲۵ درجه سلسیوس، دمای شبانه ۲±۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت‌نسبی ۲±۴۵ درصد ادامه یافت. تمام بسترهای مورد استفاده در این پژوهش چندین نوبت توسط آب شهری شستشو گردید. عملیات شستشوی بستر کوکوپیت با استفاده از آب تصفیه شده شهری انجام گرفت و این فرآیند تا زمانی ادامه یافت که هدایت الکتریکی (EC) بستر به حدود ۰/۵ dS/m کاهش یافت. تمامی بسترها و گلدان‌ها توسط ماده ضدعفونی کننده پرسیدین یک درصد گندزدایی شدند. پس از آماده‌سازی بسترها، گلدان‌ها با ترکیب کوکوپیت و پرلیت پر گردیدند. در مرحله بعد نشاهای تولید شده به گلدان‌های پلاستیکی هفت لیتری حاوی کوکوپیت-پرلیت (۷۵:۲۵) منتقل شدند. سپس بوته‌های خیار با فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متر از یکدیگر و ۷۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کاشته شدند، به‌گونه‌ای که تراکم کاشت حدود ۳/۵ بوته در هر مترمربع در فضای گلخانه برقرار شد. بوته‌ها تا قبل از ظهور برگ‌های حقیقی با آب تصفیه آبیاری شدند. بعد از ظهور اولین برگ حقیقی تغذیه بوته‌ها با محلول غذایی رش مختص خیار (Resh, 2013) با تقلیل ۵۰ درصدی منیزیم (N: ۱۴۰، P: ۵۰، K: ۳۵۰، Ca: ۲۰۰، Mg: ۲۵، S: ۱۵۰، Fe: ۳، Mn: ۰/۸، B: ۰/۳، Zn: ۰/۱، Cu: ۰/۰۷و Mo: ۰/۰۳ $mg\ L^{-1}$) انجام گردید. تغذیه با میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر از محلول غذایی در ابتدای فصل رشد آغاز و تا مقادیر ۵۰۰، ۷۰۰ و نهایتاً ۱۰۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر بوته با توجه با مرحله رشدی گیاه افزایش یافت. تغذیه بوته‌های خیار شش نوبت در روز و بصورت هر دو ساعت یکبار توسط قطره چکان‌هایی با دبی دو لیتر بر ساعت انجام گردید. این سیستم به شکل باز طراحی شده بود و درصد زهکش آن ۲۰ درصد بوده است. هم‌چنین pH محلول غذایی توسط اسید سولفوریک ۹۸ درصد در محدوده شش تنظیم گردید و EC محلول غذایی نیز در حدود ۲ dS/m بوده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (Split-plot) و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و دو بوته مشاهده در هر تکرار طراحی گردید. تیمارهای این آزمایش شامل محلول‌پاشی جلبک دریایی قهوه‌ای (۰ (G_0)، ۱/۵ ($G_{1.5}$) و ۳ (G_3) گرم در لیتر) به‌عنوان کرت اصلی و غلظت‌های مختلف آمینوکلات منیزیم (۰ (Mg_0)، ۲/۵ ($Mg_{2.5}$) و ۵ (Mg_5) میلی لیتر در لیتر) به‌عنوان کرت فرعی بود.

دو هفته بعد از انتقال نشاء محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم به صورت هر هفته یکبار آغاز و تا هفته دهم (به مدت هشت هفته) ادامه یافت. به‌عبارتی مدت زمان کاشت نشاء تا پایان آزمایش یازده هفته بوده است. به‌منظور اعمال تیمار جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم به‌ازای هر تیمار-تکرار ۱۵۰ میلی لیتر از هر محلول روی بوته‌های مختص هر تیمار محلول‌پاشی گردید. جهت تامین جلبک، ابتدا جلبک دریایی سارگاسوم از سطح آب‌های آزاد خلیج فارس و در شهرستان بوشهر جمع‌آوری و پس از تایید مرکز تحقیقات زیست‌فناوری دریایی خلیج فارس به آزمایشگاه انتقال داده شد. در مرحله بعد عملیات شستشو، هوا خشک شدن و پودر شدن توسط آسیاب برقی صورت پذیرفت. به منظور تهیه عصاره جلبکی، ۳۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد با ۳۰ گرم پودر خشک شده جلبک دریایی مخلوط و در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه لرزانده شد. عصاره حاصل پس از عبور از کاغذ صافی در دستگاه روتاری به منظور حذف اتانول قرار گرفت. مایع رویی حاوی عصاره جلبک دریایی در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و غلظت‌های مختلف جلبک دریایی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

با استفاده از آن تهیه گردید (Mohkami & Habibi-Pirkoohi, 2019). همچنین آمینوکلات مورد استفاده دارای چهار درصد منیزیم و حدود ۱۰ نوع اسید آمینه ضروری است که به صورت دو بازو با یکدیگر پیوند خورده بودند و توسط شرکت دانش بنیان زیست فناوران نوین رادمهر© با نام زیفان® طراحی گردید. شاخص‌های فتوسنتزی در برگ‌های بالغ توسعه یافته هشت هفته بعد از انتقال نشاء و شاخص‌های عملکردی در طول دوره برداشت (از هفته ششم تا یازدهم بعد از انتقال نشاء) در بوته‌های خیار مورد سنجش قرار گرفت. همچنین در انتهای فصل رشد (یازده هفته بعد از انتقال نشاء) نمونه‌برداری از بوته‌ها جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی موجود در برگ انجام گردید.

میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید با استفاده از روش Arnon (1967) ده هفته بعد از انتقال نشاء و با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالایی بالغ توسعه یافته و عصاره‌گیری با استون اندازه‌گیری شد. بدین صورت که مقدار ۰/۱ گرم از نمونه برگ بالغ و تازه در هاون چینی با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به صورت محلول یکنواختی درآمد. در نهایت با استفاده از استون ۸۰ ٪ به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در مرحله بعد فالکون‌های حاوی نمونه برگ و استون در سانتریفیوژ با سرعت ۵۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1201, Shimadzu, Japan) قرائت گردید. مقادیرکلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنویید از روابط زیر بدست آمد (Arnon, 1967):

Chlorophyll a (mg/g fresh tissue) = ((12.7× A663) – (2.69 ×A645)) × V)/ (1000×W)
Chlorophyll b (mg/g fresh tissue) = ((22.9 ×A645) – (4.68 ×A663)) × V)/ (1000×W)
Total Chlorophyll (mg/g fresh tissue) = ((20.2 A645) + (8.02 A663)) × V)/ (1000×W)
Carotenoids (mg/g) = ((A480 + (0.114 A663) – (0.638 A645)) × V)/ (1000×W)

که در آن V حجم عصاره و W وزن بافت عصاره گیری شده می‌باشد. همچنین دو ماه پس از کشت نشاء، اندازه‌گیری فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق بین ساعت ۱۱-۹ صبح، با دو قرائت به ازای برگ‌های بالغ توسعه یافته هر تیمار- تکرار با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر (LCi-SD, UK) انجام شد. برداشت میوه‌های خیار در طول دوره رشد به‌طور منظم انجام گردید. تعداد میوه‌های برداشت شده طی حدوداً ۴۰-۳۵ برداشت یادداشت و ثبت گردید. همچنین وزن میوه‌های برداشت شده در هر مرحله با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. در پایان، مجموع وزن میوه‌های برداشت شده از هر بوته در تمام مراحل برداشت محاسبه و به عنوان عملکرد کل آن بوته به‌صورت گرم در بوته گزارش گردید.

آماده‌سازی و عصاره‌گیری نمونه‌های برگی به‌منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی انجام گردید. ابتدا عملیات شستشو با آب مقطر، خشک شدن و آسیاب نمونه‌های برگی انجام گردید. به منظور تهیه نمونه خشک، ترکیبی از برگ‌های میانی و بالایی بالغ توسعه‌یافته در آون با حرارت ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس آسیاب شدند. پس از عبور نمونه‌های آسیاب شده از الک دستی، در نهایت غلظت عناصر غذایی منیزیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نمونه برگ‌های آماده شده اندازه‌گیری گردید. همچنین در مرحله عصاره‌گیری، عملیات هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک-اسید سالیسیلیک-آب اکسیژنه جهت اندازه‌گیری نیتروژن و پتاسیم (Waling *et al.*, 1989) و عملیات هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک جهت اندازه‌گیری منیزیم و فسفر (Chapman & Pratt, 1962) انجام گردید.

از عصاره حاصل از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک برای اندازه‌گیری منیزیم برگ استفاده گردید. بدین یک میلی‌لیتر از عصاره نمونه‌ها به نسبت ۱:۹ با آب مقطر رقیق شد. سپس با میکرو پی‌پت ۰/۲۵ میلی‌لیتر از عصاره رقیق شده به لوله آزمایش منتقل شد و میزان ۴/۷۵ میلی‌لیتر از محلول نیترات لانتانوم دارای یک گرم در لیتر لانتانوم، به آن اضافه شد. از این عصاره برای اندازه‌گیری میزان جذب منیزیم (در طول موج ۲۸۵/۲ نانومتر) با دستگاه جذب اتمی استفاده شد.

برای اندازه گیری درصد نیتروژن کل گیاه ابتدا ۰/۳ گرم نمونه گیاه با ترازو توزین و به بالن‌های هضم ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر مخلوط اسیدها (شامل اسیدسولفوریک یک لیتر، آب اکسیژنه چند قطره و اسید سالیسیلیک ۷/۲ گرم و سلنیوم دی‌اکسید ۳/۵ گرم) افزوده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. نمونه‌ها به مدت دو ساعت در ۱۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و پس از افزودن ۱ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه (در سه مرحله) به مدت سه ساعت در ۳۳۰

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

درجه سلسیوس حرارت دیدند تا عصاره‌ای بیرنگ حاصل آید. این عصاره به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس پنج میلی‌لیتر از این عصاره به دستگاه تقطیر منتقل و پس از افزودن دو میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم و رساندن حجم به ۲۰ میلی‌لیتر، تقطیر به کمک بخار آب به مدت ۵ دقیقه انجام شد. محلول حاصل از تقطیر در ۱۰ میلی‌لیتر اسید بوریک دارای ۱۰ قطره اندیکاتور جذب گردید. اسیدبوریک دارای آمونیاک با اسیدسولفوریک ۰/۰۰۵ مول تا تغییر رنگ محلول از سبز به صورتی تیتر گردید. تمام مراحل بالا برای نمونه شاهد نیز تکرار گردید. برای سنجش فسفر از روش رنگ سنجی (مولیبدات-وانادات) استفاده شد. دو گرم نمونه برگ خشک به مدت چهار ساعت در کوره ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شد. به خاکستر، آب مقطر و ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک دو مولار افزوده و پس از صاف کردن، پنج میلی‌لیتر از عصاره حاصل با پنج میلی‌لیتر محلول آمونیوم مولیبدات-وانادات مخلوط و در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت و میزان فسفر نمونه بر حسب درصد محاسبه و گزارش گردید. جهت اندازه‌گیری پتاسیم از روش نشر شعله‌ای استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا محلول حاصل از عصاره‌گیری به نسبت ۱:۹ با کلرور سزیم (Cs) رقیق شد و سپس میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه فلیم‌فتومتر در طول موج ۷۶۶/۵ نانومتر قرائت گردید و نهایتاً میزان پتاسیم در نمونه خشک برگی محاسبه و بر حسب درصد گزارش گردید.

واکاوی آماری داده‌ها توسط نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت و در سطح احتمال پنج درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه میانگین قرار گرفت.

نتایج

کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل

اثر اصلی محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل برگ‌های خیار معنی‌دار بوده است، اما بر غلظت کلروفیل b برگ معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). همچنین اثر اصلی آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار بوده است (جدول ۱). بر اساس نتایج، برهمکنش عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد ولی بر مقدار کلروفیل b معنی‌دار نبود (شکل ۱ و ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم میزان کلروفیل b به‌طور معنی داری افزایش یافت ولی بین غلظت‌های ۲/۵ میلی‌لیتر بر لیتر و پنج میلی‌لیتر بر لیتر تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول۱). همچنین نتایج برهمکنش جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار سه گرم بر لیتر جلبک دریایی و پنج میلی‌لیتر بر لیتر آمینوکلات منیزیم ($G_3 \times Mg_5$) مشاهده گردید (۱/۴۶ میلی‌گرم بر گرم) و اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱/۵ گرم بر لیتر جلبک دریایی و ۵ میلی‌لیتر بر لیتر آمینوکلات منیزیم ($G_{1.5} \times Mg_5$) نشان نداد (۱/۳۹ میلی‌گرم بر گرم)، همچنین کمترین مقادیر صفات ذکر شده در تیمار شاهد ($G_0 \times Mg_0$) مشاهده گردید. استفاده از تیمار $G_3 \times Mg_5$ در قیاس با تیمار شاهد به ترتیب سبب افزایش ۱۸۶/۲۷ درصدی کلروفیل a و ۱۵۱/۱۹ درصدی کلروفیل کل گردید (شکل ۱ و ۲).

کارتنوئید

مطابق نتایج اثر عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال پنج درصد و اثر آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کارتنوئید کل برگ خیار معنی‌دار بود (جدول ۱) ولی برهمکنش دو تیمار بر این صفت معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول ۱)، افزایش غلظت محلول جلبک دریایی باعث افزایش مقدار کارتنوئید کل شد. به‌گونه‌ای که تیمار سطح صفر (G_0) کمترین و تیمار سطح سه گرم بر لیتر (G_3) بیشترین مقدار کارتنوئید کل را به خود اختصاص دادند. همچنین اختلاف معنی‌داری بین غلظت کارتنوئید برگ تیمارهای ۱/۵ گرم بر لیتر ($G_{1.5}$) وG_3 مشاهده نگردید (جدول ۱). همچنین مقدار کارتنوئید کل با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به گونه‌ای که حداقل و حداکثر مقدار آن به ترتیب مربوط به سطح صفر (Mg_0) با میانگین ۰/۵ میلی‌گرم بر گرم و سطح پنج میلی‌لیتر بر لیتر با میانگین ۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم بود. بین سطح صفر و ۲/۵ میلی‌لیتر برلیتر آمینوکلات منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر کارتنوئید برگ مشاهده نشد (جدول ۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

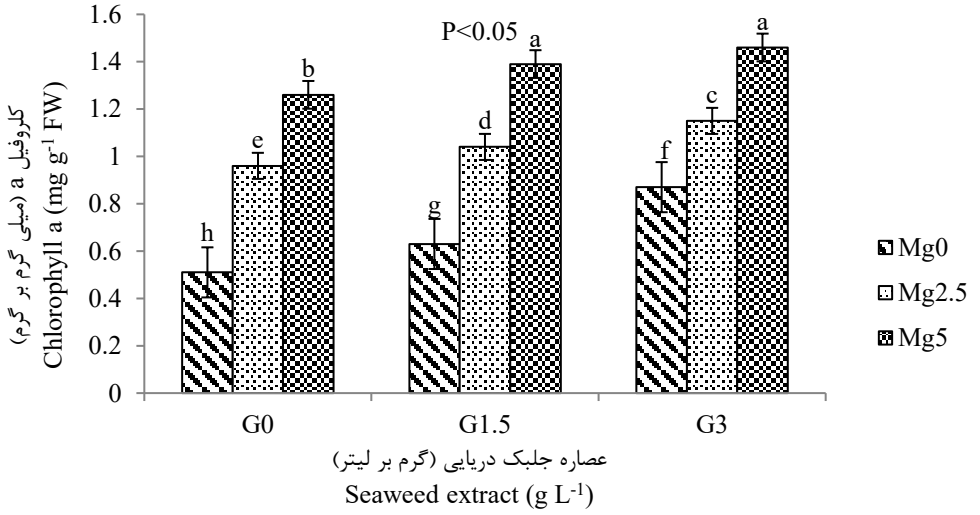
جدول ۱- اثرات اصلی عصاره جلبک دریایی (*Sargassum angustifolium*) و آمینوکلات منیزیم بر رنگیزه‌ها و شاخص‌های فتوسنتزی خیار.

Table 1. The main effects of seaweed extract *(Sargassum angustifolium*) and Mg-aminochlate on pigments and photosynthetic indices of cucumber.

تیمار Treatment	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)	کارتنوئید Carotenoid (mg g^{-1} FW)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conduction (mmol $m^{-2}.s^{-1}$)	نرخ تعرق Transpiration rate (mmol $m^{-2}.s^{-1}$)
جلبک دریایی (g L^{-1}) Seaweed extract				
0 (G_0)	0.45	0.64 b	0.09 b	3.33 a
1.5 ($G_{1.5}$)	0.44	0.70 ab	0.10 b	2.02 b
3 (G_3)	0.51	0.80 a	0.13 a	2.87 a
معنی‌داری Significance	ns	*	**	*
آمینوکلات منیزیم (mL L^{-1}) Mg-aminochelate				
0 (Mg_0)	0.35 b	0.50 c	0.07 b	2.77
2.5 ($Mg_{2.5}$)	0.48 a	0.63 b	0.12 a	2.75
5 (Mg_5)	0.58 a	1.01 a	0.14 a	2.70
معنی‌داری Significance	**	**	**	ns

میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هستند (آزمون دانکن). **، *و ns به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

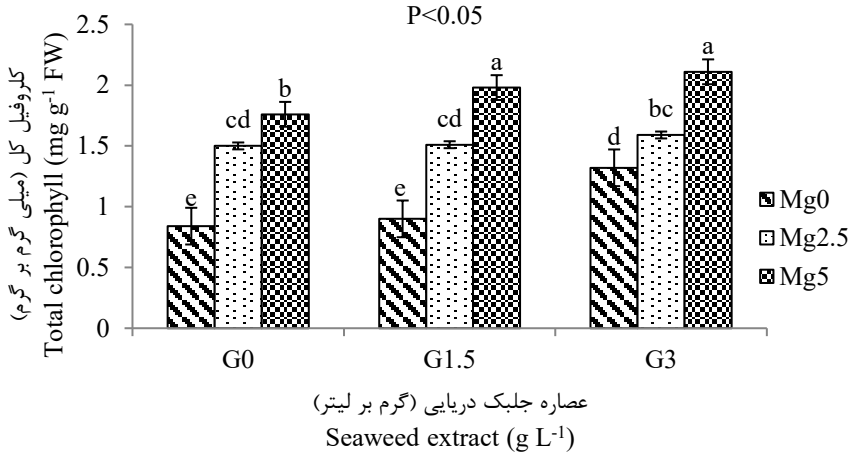
Means with different letters are significantly different at the 5% probability level (Duncan's test) **, * and ns indicate significant differences at the 1%, 5% and non-significant levels, respectively.



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* (G) و آمینوکلات منیزیم (Mg) بر میزان کلروفیل a گیاه خیار در شرایط کمبود منیزیم (معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن).

Fig. 1. Effect of different concentrations of *Sargassum angustifolium* seaweed extract (G) and magnesium aminochelate (Mg) on the chlorophyll a content of cucumber plants under magnesium deficiency conditions (Significance at the 5% probability level based on Duncan's test).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

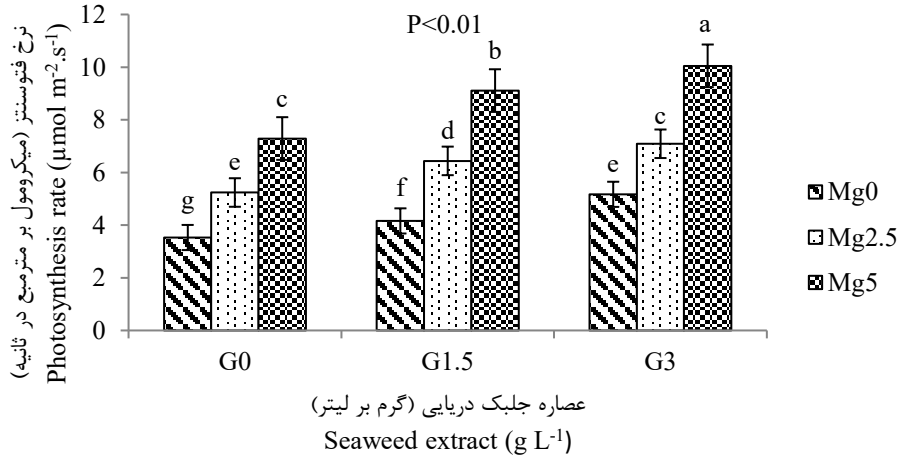


شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* (G) و آمینوکلات منیزیم (Mg) بر میزان کلروفیل کل گیاه خیار در شرایط کمبود منیزیم (معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن).

Fig. 2. Effect of different concentrations of *Sargassum angustifolium* seaweed extract (G) and magnesium aminochelate (Mg) on the total chlorophyll a content of cucumber plants under magnesium deficiency conditions (Significance at the 5% probability level based on Duncan's test).

نرخ فتوسنتز

بر اساس نتایج این آزمایش، برهمکنش جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر نرخ فتوسنتز برگ‌های خیار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. نتایج برهمکنش عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر نرخ فتوسنتز نشان داد که بیشترین مقدار آن با ۱۰/۰۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در تیمار $G_3 \times Mg_5$ و کمترین میزان آن در تیمار شاهد با ۳/۵۳ میکرومول بر مترمربع در ثانیه مشاهده گردید (شکل ۳). همچنین در تمام سطوح جلبک دریایی با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم نرخ فتوسنتز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به گونه‌ای که در تمام سطوح آمینوکلات منیزیم محلول‌پاشی جلبک دریایی ۱/۵ گرم بر لیتر شرایط بهتری را نسبت به تیمار شاهد و تیمار سه گرم بر لیتر وضعیت مطلوب تری را نسبت به تیمار ۱/۵ گرم بر لیتر از نظر فتوسنتزی ایجاد کرد (شکل ۳) که مشابه با غلظت کلروفیل کل برگ‌های خیار بوده است.



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* (G) و آمینوکلات منیزیم (Mg) بر نرخ فتوسنتز خیار در شرایط کمبود منیزیم (معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر اساس آزمون دانکن).

Fig. 3. Effect of different concentrations of *Sargassum angustifolium* seaweed extract (G) and magnesium aminochelate (Mg) on photosynthesis rate of cucumber under magnesium deficiency conditions (Significance at the 1% probability level based on Duncan's test).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

هدایت روزنه‌ای

بر اساس نتایج اثرات اصلی با افزایش غلظت جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم هدایت روزنه‌ای برگ‌های خیار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در حالی‌که برهمکنش جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر این شاخص معنی‌دار نبوده است. مطابق نتایج مقایسات میانگین بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار سه گرم بر لیتر جلبک دریایی مشاهده گردید، همچنین در تیمار آمینوکلات منیزیم نیز سطوح ۲/۵ و پنج میلی‌لیتر بر لیتر به ترتیب با ۰/۱۲ و ۰/۱۴ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای برگ را به نمایش گذاشتند که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها نیز مشاهده نگردید (جدول ۱).

نرخ تعرق

آنالیز داده‌های این آزمایش نشان داد که اثر اصلی جلبک دریایی در سطح احتمال پنج درصد بر نرخ تعرق برگ‌های خیار معنی‌دار بوده است در حالی‌که اثر اصلی آمینوکلات منیزیم و برهمکنش جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم تاثیر معنی‌داری بر نرخ تعرق برگ‌های خیار ایجاد نکرده است (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسات میانگین بیشترین نرخ تعرق برگ‌های خیار تحت محلول‌پاشی تیمارهای صفر و سه گرم بر لیتر جلبک دریایی مشاهده گردید (جدول ۱).

تعداد میوه

بر اساس نتایج این آزمایش اثر جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش تیمارها در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد میوه‌های خیار معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیمارها بیشترین تعداد میوه با ۴۱/۶۶ عدد در تیمار $G_3 \times Mg_5$ و کمترین تعداد میوه با ۲۰ عدد در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۲). در تمام سطوح جلبک دریایی با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم تعداد میوه های خیار به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای $G_{1.5} \times Mg_5$ و $G_3 \times Mg_5$ از نظر تعداد میوه مشاهده نگردید (جدول ۲).

جدول ۲- اثرات اصلی عصاره جلبک دریایی (*Sargassum angustifolium*) و آمینوکلات منیزیم بر شاخص‌های عملکردی خیار.

Table 2. The main effects of seaweed extract *(Sargassum angustifolium*) and Mg-aminochlate on cucumber yield indices.

تیمار Treatment		تعداد میوه Number of fruits	وزن تک میوه Single fruit weight (g)	عملکرد Yield (g plant^{-1})
جلبک دریایی (g L^{-1}) Seaweed extract	آمینوکلات منیزیم (mL L^{-1}) Mg-aminochelate			
0 (G_0)	0 (Mg_0)	20.00 ^{f}	74.49 ^{cd}	1503 ^{g}
	2.5($Mg_{2.5}$)	25.00 ^{de}	80.52 ^{ab}	2011 ^{ef}
	5(Mg_5)	35.00 ^{b}	67.57 ^{e}	2363 ^{bc}
1.5 ($G_{1.5}$)	0 (Mg_0)	22.33 ^{ef}	71.65 ^{de}	1593 ^{g}
	2.5($Mg_{2.5}$)	30.00 ^{c}	70.94 ^{de}	2120 ^{de}
	5(Mg_5)	40.66 ^{a}	62.81 ^{f}	2554 ^{b}
3 (G_3)	0 (Mg_0)	26.00 ^{de}	70.97 ^{de}	1842 ^{f}
	2.5($Mg_{2.5}$)	28.66 ^{cd}	77.66 ^{bc}	2225 ^{cd}
	5(Mg_5)	41.66 ^{a}	82.85 ^{a}	3038 ^{a}
معنی‌داری Significance		*	**	*

میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هستند (آزمون دانکن). **، *و ns به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

Means with different letters are significantly different at the 5% probability level (Duncan's test) **, * and ns indicate significant differences at the 1%, 5% and non-significant levels, respectively.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

وزن تک میوه

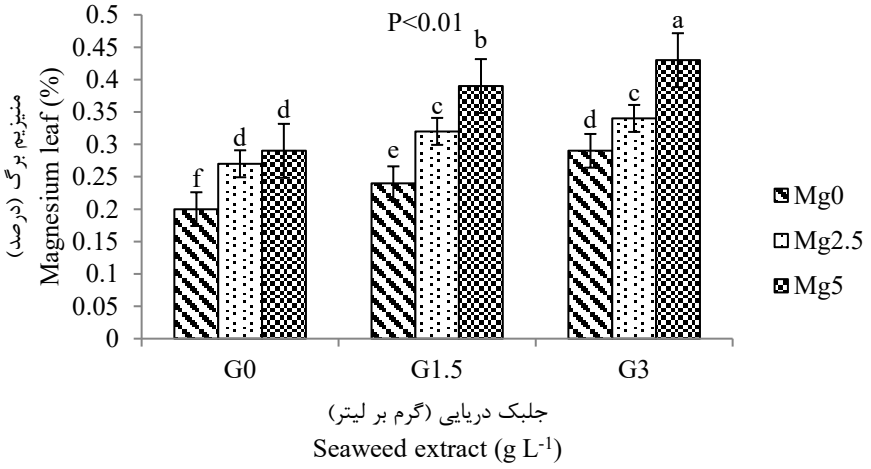
اثر اصلی جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن تک میوه‌های خیار معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بوده است (جدول ۲). بیشترین وزن تک میوه در تیمار $G_3 \times Mg_5$ مشاهده گردید که در قیاس با تیمار شاهد سبب افزایش ۱۱/۵۲ درصدی وزن میوه های خیار گردید (جدول ۲).

عملکرد

بر اساس نتایج اثر اصلی و متقابل جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بوته‌های خیار معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برهمکنش عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر عملکرد میوه خیار نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد به‌ترتیب با ۳۰۳۸ و ۱۵۰۳ گرم در تیمارهای $G_3 \times Mg_5$ و $G_0 \times Mg_0$ مشاهده گردید که سبب افزایش ۱۰۲ درصدی عملکرد گردید. بعد از تیمار $G_3 \times Mg_5$، بیشترین میزان عملکرد در غلظت پنج میلی‌لیتر بر لیتر آمینوکلات منیزیم و غلظت‌های ۱/۵ و صفر گرم بر لیتر عصاره جلبکی مشاهده گردید، همچنین در هر سطح از عصاره جلبکی با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم افزایش چشمگیر عملکرد مشاهده گردید که نشان از تأثیر مثبت این آمینوکلات در تیمارهای با سطوح مختلف عصاره جلبکی است (جدول ۲).

منیزیم برگ

نتایج داده‌های این آزمایش نشان داد که اثر اصلی و متقابل جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر غلظت منیزیم برگ‌های خیار معنی‌دار بوده است (شکل ۴). مطابق نتایج برهمکنش، در تمام سطوح عصاره جلبکی با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم مقدار منیزیم برگ‌های خیار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به گونه‌ای که کمترین غلظت منیزیم با ۰/۲۰ درصد در تیمار شاهد و بیشترین غلظت منیزیم با ۰/۴۳ درصد در تیمار $G_3 \times Mg_5$ مشاهده گردید (شکل ۴). یافته های این آزمایش نشان داد که در سطح صفر میلی‌لیتر بر لیتر آمینوکلات منیزیم با افزایش سطوح عصاره جلبکی غلظت منیزیم برگ‌های خیار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که نشان از بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه با محلول‌پاشی جلبک دریایی *S. angustifolium* است. علاوه بر این، در تمام سطوح عصاره جلبکی مطابق انتظار با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم، مقدار منیزیم برگ‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در تمام سطوح جلبک دریایی، درصد منیزیم برگ به‌ترتیب در تیمارهای صفر، ۲/۵ و پنج میلی‌لیتر بر لیتر آمینوکلات منیزیم از کمترین به بیشترین مقدار افزایش یافت (شکل ۴).



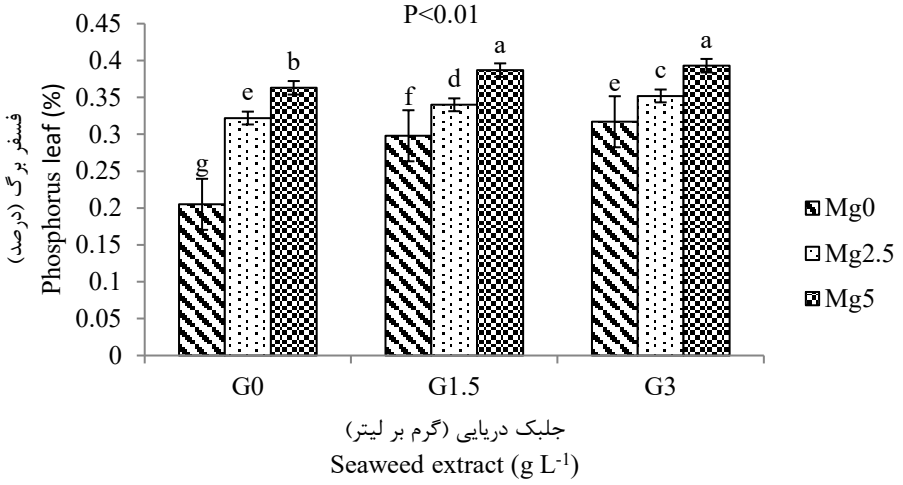
شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* (G) و آمینوکلات منیزیم (Mg) بر منیزیم برگ خیار در شرایط کمبود منیزیم (معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر اساس آزمون دانکن).

Fig. 4. Effect of different concentrations of *Sargassum angustifolium* seaweed extract (G) and magnesium aminochelate (Mg) on magnesium in cucumber leaves under magnesium deficiency conditions (Significance at the 1% probability level based on Duncan's test).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

فسفر برگ

بر اساس نتایج این آزمایش اثرات اصلی و متقابل عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر غلظت فسفر برگ‌های خیار معنی‌دار بوده است (شکل ۵). بر اساس نتایج، در سطوح بدون محلول‌پاشی جلبک دریایی با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم غلظت فسفر برگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین در تیمار بدون محلول‌پاشی آمینوکلات منیزیم با افزایش سطح جلبک دریایی غلظت فسفر برگ به‌طور محسوسی افزایش یافت که نشان از نقش موثر هر دو ترکیب بر بهبود وضعیت فسفر برگ‌های خیار می‌باشد (شکل ۵). همچنین در تمام سطوح عصاره جلبک دریایی با افزایش سطح محلول‌پاشی آمینوکلات منیزیم غلظت فسفر برگ خیار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. از سایر نتایج جالب توجه، عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای $G_3 \times Mg_5$ و $G_{1.5} \times Mg_5$ از نظر غلظت فسفر برگ می باشد که نشان از نقش موثر غلظت های پایین‌تر عصاره جلبکی در بهبود روابط تغذیه ای گیاه است (شکل ۵).



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* (G) و آمینوکلات منیزیم (Mg) بر فسفر برگ خیار در شرایط کمبود منیزیم (معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر اساس آزمون دانکن).

Fig. 5. Effect of different concentrations of *Sargassum angustifolium* seaweed extract (G) and magnesium aminochelate (Mg) on phosphorus in cucumber leaves under magnesium deficiency conditions (Significance at the 1% probability level based on Duncan's test).

نیتروژن برگ

بر اساس نتایج این آزمایش اثر اصلی جلبک دریایی و برهمکنش جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم بر میزان نیتروژن برگ‌های خیار معنی‌دار نبوده است، اما اثر اصلی آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر مقدار نیتروژن برگ خیار معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین، با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم نیتروژن برگ‌های خیار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به گونه‌ای که بیشترین غلظت نیتروژن (۴/۰۴ درصد) در تیمار ۵ میلی‌لیتر بر لیتر آمینوکلات منیزیم و کمترین میزان آن (۲/۹۷ درصد) در تیمار بدون محلول‌پاشی آمینوکلات منیزیم مشاهده گردید (جدول ۳).

پتاسیم برگ

مطابق یافته‌های این آزمایش محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر غلظت پتاسیم برگ‌های خیار معنی‌دار بوده است اما برهمکنش آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشته است (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی، با افزایش سطوح محلول‌پاشی عصاره جلبکی و همچنین با افزایش غلظت آمینوکلات منیزیم غلظت پتاسیم برگ خیار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). بر این اساس در تیمار بدون محلول‌پاشی جلبک دریایی بیشترین میزان پتاسیم برگ با ۶/۲۶ درصد و در تیمارهای آمینوکلات منیزیم در تیمار صفر میلی‌لیتر بر لیتر بیشترین غلظت پتاسیم برگ با ۶/۰۵ درصد مشاهده گردید (جدول ۳).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

جدول ۳- اثرات اصلی عصاره جلبک دریایی (*Sargassum angustifolium*) و آمینوکلات منیزیم بر غلظت نیتروژن و پتاسیم برگ خیار.

Table 3. The main effects of seaweed extract *(Sargassum angustifolium*) and Mg-aminochlate on nitrogen and potassium concentrations in cucumber leaves.

تیمار Treatment	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	پتاسیم (درصد) Potassium (%)
جلبک دریایی ($g\ L^{-1}$) Seaweed extract		
0 (G_0)	3.52	6.26 [a]
1.5 ($G_{1.5}$)	3.52	5.93 [b]
3 (G_3)	3.35	5.70 [b]
معنی‌داری Significance	ns	**
آمینوکلات منیزیم ($mL\ L^{-1}$) Mg-aminochelate		
0 (Mg_0)	2.97 [b]	6.05 [a]
2.5 ($Mg_{2.5}$)	3.38 [b]	6.05 [a]
5 (Mg_5)	4.04 [a]	5.79 [b]
معنی‌داری Significance	**	**

میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هستند (آزمون دانکن). **، *و ns به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

Means with different letters are significantly different at the 5% probability level (Duncan's test) **, * and ns indicate significant differences at the 1%, 5% and non-significant levels, respectively.

بحث

یافته‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که استفاده از آمینوکلات منیزیم احتمالاً از طریق افزایش تولید کلروفیل و پروتئین‌های مرتبط با کلروفیل با اثرگذاری بر نرخ فتوسنتز بر شاخص‌های رشدی و عملکردی خیار موثر بوده است. همچنین به نظر می‌رسد آمینوکلات منیزیم از طریق بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و افزایش کلروفیل متاثر از استفاده این آمینواسیدها سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه خیار گردد. با توجه به یافته‌های قبلی پژوهشگران، بهره‌گیری از عصاره جلبک‌های دریایی بومی خلیج فارس احتمالاً می‌تواند از طریق تامین مقادیر کافی مواد مغذی مانند منیزیم، کلسیم، فسفر و پتاسیم، عناصر کمیاب، ویتامین‌ها، فیتوهورمون‌ها، اسیدهای آسکوربیک و بسیاری دیگر از ترکیبات زیست فعال رشد، فتوسنتز و خصوصیات عملکردی میوه خیار را افزایش دهد (Saeed & Mirzaei, 2014; Shukla *et al.,* 2018). بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از عصاره جلبک دریایی باعث بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه مانند تحریک جذب عناصر غذایی، ایجاد سیستم ریشه‌ای قوی و افزایش زیست توده، فتوسنتز و عملکرد می‌شود و گزینه مناسبی برای به حداقل رساندن استفاده از کودهای معمولی است.

بر اساس نتایج این آزمایش استفاده همزمان عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و کلروفیل کل سهم بسزایی در افزایش نرخ فتوسنتز بوته‌های خیار داشته است. عصاره جلبک دریایی دارای مواد مختلف از جمله شبه هورمون‌های محرک رشد، عناصر غذائی و انواع مواد ضدتنش می‌باشد که در توسعه بهتر ریشه، افزایش جذب آب و عناصر معدنی، افزایش میزان کلروفیل، افزایش گلدهی و تشکیل میوه، ایجاد مقاومت بیشتر در برابر تنش‌های محیطی و افزایش کمیت و کیفیت میوه تأثیر دارد (Saeed & Mirzaei, 2014) که در توافق با نتایج آزمایش حاضر می‌باشد. کاهش فتوسنتز و عملکرد در شرایط کمبود منیزیم، به نقش منیزیم در ساختار کلروفیل مرتبط می‌باشد (Azarmi *et al.,* 2018). کمبود منیزیم ابتدا سبب کاهش غلظت کلروفیل b و به دنبال آن سبب کاهش غلظت کلروفیل a برگ می‌شود که نهایتاً کاهش عملکرد را به همراه خواهد داشت (Hermans *et al.,* 2004).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

یافته‌های پژوهشگران نشان داد که محتوای پتاسیم در عصاره جلبک دریایی به طور مثبت فتوسنتز، رشد مریستم و محتوای آب را در گیاهان تیمار شده افزایش می‌دهد. علاوه بر این، محتوای فسفر تکثیر ریشه را فعال و نسبت ریشه به ساقه را افزایش می‌دهد. همچنین، کلسیم موجود در عصاره جلبک دریایی به افزایش طول یاخته، پایداری یاخته‌ای و فعال شدن آنزیم در گیاهان تیمار شده و منیزیم موجود در آن به ساخت کلروفیل و بهبود فتوسنتز کمک می‌کند (Ahmed *et al.,* 2021). یافته‌های Xu و Leskovar (۲۰۱۵) نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در گیاه اسفناج با بهبود روابط آب برگ، حفظ فشار تورژسانس یاخته‌ای و کاهش محدودیت روزنه منجر به سطح برگ بزرگ و سرعت فتوسنتزی بالا شد.

یافته‌های علمی نشان می‌دهد که ظهور علائم کلروز و نکروز در برگ‌های با کمبود منیزیم متاثر از تخریب کلروفیل و به‌دلیل اکسیداسیون نوری و تجمع قند و نشاسته محلول در برگ‌های منبع همراه است. همچنین این امر با کاهش بیش از حد زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی سبب تشکیل گونه‌های فعال اکسیژنی و کاهش تبادلات گازی و فتوسنتز می‌شود (Azarmi *et al.,* 2015). نکروز برگ در تیمار صفر منیزیم را می‌توان به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژنی و کاهش غلظت کلروفیل و فتوسنتز نسبت داد (Borowski & Michalek, 2010). منیزیم یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاه است و بخش مرکزی مولکول کلروفیل را تشکیل می‌دهد. در میان مواد مغذی معدنی ضروری مورد نیاز برای گیاهان، منیزیم نقش مهمی در بارگیری آوند آبکش و انتقال فتوآسیمیلات‌ها به اندام‌های مخزن مانند نوک ساقه و دانه‌ها دارد. علاوه بر این، برای فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌ها از جمله ATPases، ریبولوز ۱، ۵-بیس فسفات (روبیسکو) کربوکسیلاز، RNA پلیمراز و پروتئین کینازها ضروری است و از این طریق به بهبود نرخ فتوسنتز گیاهان کمک می‌کند (Azarmi *et al.,* 2018).

همچنین بر اساس نتایج این آزمایش تیمارهای ترکیبی عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم از طریق افزایش تعداد میوه و وزن تک میوه سهم بسزایی در افزایش عملکرد بوته‌های خیار داشته باشد. افزایش تحرک سیتوکینین‌ها از ریشه‌ها به اندام‌های زایشی و افزایش سنتز سیتوکینین‌ها تحت تاثیر محلول‌پاشی عصاره‌های جلبک دریایی گزارش شده است که می‌تواند از طریق افزایش سیتوکنین در دسترس گیاه موجب افزایش گلدهی و افزایش عملکرد شود (Uthirapandi *et al.,* 2019). در توافق با نتایج این آزمایش یافته‌های Seilsepour (2022) در خیار گلخانه‌ای رقم سوپرسلطان نشان داد که استفاده از آمینوکلات‌ها سبب افزایش تعداد میوه در بوته، عملکرد و شاخص کلروفیل برگ می‌شود. همچنین استفاده از عصاره جلبک دریایی از طریق افزایش سطح برگ گیاه (داده‌ها نشان داده نشده است) و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی، سبب افزایش وزن میوه می‌شود. از آنجایی‌که در عصاره جلبک دریایی، مواد مغذی، اسیدهای آمینه و چرب، هورمون‌های کنترل رشد و سایر عناصر مفید وجود دارد، استفاده از غلظت‌های بالای عصاره جلبک دریایی با افزایش سرعت و مدت فتوسنتز، راندمان انتقال مواد تولیدی در جریان انجام فتوسنتز و تجمع ماده خشک افزایش‌یافته و موجب افزایش وزن میوه در گیاه می‌شود (Khan *et al.,* 2009). همچنین به‌نظر می‌رسد ترکیبات آمینواسیدی به‌علت داشتن ترکیبات تسهیل‌کننده رشدونمو و همچنین منیزیم با افزایش میزان کلروفیل برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه همراه با افزایش سنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها، سبب تولید میوه‌های بزرگ‌تر نسبت به شاهد شده است (Torab Ahmadi *et al.,* 2019).

در پژوهشی، Mannino و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که بهبود عملکرد و بهره‌وری گیاهان گوجه‌فرنگی تحت کاربرد عصاره جلبک دریایی می‌تواند به مولکول‌های سیگنال‌دهی شامل پلی‌ساکاریدها (آلژینات ها، فوکویدان و لامینارین‌ها)، پپتیدهای محلول، افزایش بیوسنتز هورمون‌های گیاهی درون زا (فعالیت‌های شبه اکسین و / یا جیبرلین)، الیگوپپتیدها و اسیدهای آمینه آزاد (حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از جلبک (بر اساس وزن خشک) دریایی را تشکیل می‌دهند) مرتبط باشد. افزایش سنتز پروتئین و آنزیم، افزایش جذب نیتروژن و افزایش کلروفیل متأثر از استفاده آمینواسیدها سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Mahmoud *et al.,* 2013).

داده‌های مرتبط با عناصر غذایی موجود در برگ‌های خیار نشان داد که محلول‌پاشی جلبک دریایی *S. angustifolium* احتمالاً از طریق افزایش غلظت پتاسیم، فسفر و منیزیم برگ و آمینوکلات منیزیم از طریق افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم برگ سهم بسزایی در بهبود شاخص‌های فتوسنتزی و عملکردی بوته‌های خیار داشته‌اند. در این راستا یافته‌های محققان نشان داد که محتوای پتاسیم در عصاره جلبکی به‌طور مثبت فتوسنتز، رشد مریستم و محتوای آب را در گیاهان تیمار شده افزایش می‌دهد. علاوه بر این، محتوای فسفر تکثیر ریشه را فعال می‌کند و نسبت ریشه به ساقه را افزایش می‌دهد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

منیزیم موجود در عصاره جلبکی به افزایش غلظت منیزیم و کلروفیل بافت و نرخ فتوسنتز و همچنین، کلسیم موجود در آن به افزایش طول یاخته، پایداری یاخته‌ای و فعال شدن آنزیم در گیاهان تیمار شده کمک می‌کند (Zheng *et al.,* 2016; Ahmed *et al.,* 2021). در توافق با نتایج این آزمایش، یافته‌های قبلی نشان داد که محلول‌پاشی کودهای دارای اسیدهای آمینه باعث افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین افزایش عملکرد کدو شد (Abd El-Aal *et al.,* 2010). منیزیم، منگنز و آهن که همگی در فرآیندهای خاص مانند بیوسنتز کلروفیل و فتوسنتز دخیل هستند، کاندیدهای مناسبی برای محلول‌پاشی برگی هستند. مطالعات نشان داد که محلول‌پاشی منیزیم از طریق افزایش غلظت منیزیم بافت برگی و اثرگذاری بر کلروفیل برگ و فتوسنتز برگ‌های تازه در حال رشد سبب بهبود رشد و تشکیل غلاف در باقلا می‌شود (Niu *et al.,* 2021). به‌نظر می‌رسد که مطابق انتظار با افزایش مقادیر آمینوکلات منیزیم، غلظت منیزیم برگ خیار به‌دلیل قرارگیری آن در مرکز حلقه پیرولی کلروفیل افزایش یابد. یافته‌های Azarmi و همکاران (2018) در خیار نشان داد که افزایش غلظت منیزیم محلول غذایی سبب افزایش غلظت منیزیم برگ‌های خیار می‌گردد ((Azarmi *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی همزمان عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* و آمینوکلات منیزیم از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و کلروفیل کل نقش موثری در بهبود نرخ فتوسنتزی و عملکرد گیاه خیار ایفا کرده است. همچنین افزایش تعداد و وزن تک میوه‌های خیار و بهبود جذب عناصر غذایی مانند منیزیم و فسفر تحت محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و آمینوکلات منیزیم سهم بسزایی در بهبود رشد و عملکرد بوته‌های خیار تحت تیمار داشته است. بنابراین، عصاره مایع جلبک دریایی می‌تواند به عنوان یک محرک زیستی آلی مؤثر و امیدوارکننده در کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نتایج آزمایش حاضر، به‌نظر می‌رسد استفاده از مقادیر سه گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی *Sargassum angustifolium* و پنج میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات منیزیم می‌تواند برای بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک، فتوسنتزی و عملکردی خیار گلخانه‌ای در شرایط کمبود منیزیم توصیه گردد. با توجه به محدودیت‌های این آزمایش در قالب پایان‌نامه، مطالعه در سایر ارقام خیار گلخانه‌ای، انجام آزمایش تا پایان فصل کشت و کشت در دو سال متوالی پیشنهاد می‌گردد. همچنین به‌منظور درک بهتر سایر مکانیسم‌های دخیل در بهبود شاخص‌های فتوسنتزی و عملکردی خیار، انجام آزمایش‌ها در سطح سلولی- ملکولی و بررسی روابط آنتی‌اکسیدانی و آنزیمی مرتبط، به سایر پژوهشگران جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تامین هزینه این پژوهش، از شرکت سپاهان رویش اصفهان جهت تامین بذر، جناب مهندس ابراهیمی کارشناس‌ارشد مرکز تحقیقات زیست‌فناوری دریایی خلیج‌فارس به‌منظور تامین جلبک دریایی و از شرکت دانش بنیان زیست فناوران نوین رادمهر جهت تامین آمینوکلات منیزیم این آزمایش نهایت تشکر و قدردانی به‌عمل می آید.

References منابع

Abd El-Aal, F. S., Shaheen, A. M., Ahmed, A. A., & Mahmoud, A. R. (2010). Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *6*(5), 583-588.

Adnan, M. (2020). Does foliar application of macro and micronutrients have any impact on roses production? A review. *Annals of Reviews and Research*, 6(1),

Adnan, M., Hayyat, M. S., Imran, M., Rehman, F. U., Saeed, M. S., Mehta, J., & Tampubolon, K. (2020). Impact of foliar application of magnesium fertilizer on agronomic crops: A review. *Indian Journal of Pure and Applied Biosciences, 8*, 281-288.

Adnan, M., Tampubolon, K., ur Rehman, F., Saeed, M. S., Hayyat, M. S., Imran, M., ... & Mehta, J. (2021). Influence of foliar application of magnesium on horticultural crops: A review. *Agrinula: Jurnal Agroteknologi dan Perkebunan*, *4*(1), 13-21.

Ahmed, D. A. E. A., Gheda, S. F., & Ismail, G. A. (2021). Efficacy of two seaweeds dry mass in bioremediation of heavy metal polluted soil and growth of radish (*Raphanus sativus* L.) plant. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(10), 12831-12846.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy journal*, *23*(1), 112-121.

Azarmi, R., Tabatabaei, S. J., & Chaparzadeh, N. (2015). Effect of magnesium on growth, fruit quality and sugar content in cucumber under various light intensities. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences*, *4*(9), 5915-5932.

Badgery-Parker, J., James, L., Jarvis, J., Parks, S. (2015). Commercial Greenhouse Cucumber Production: 2010 Edition. NSW Agriculture.

Borowski, E., Michalek, S. (2010). The effect of foliar nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.) with magnesium salt and urea on exchange, leaf yield and quality. *Acta Agrobotanica*, *63*(1), 77-85.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil*, *302*: 1-17.

Campobenedetto, C., Mannino, G., Beekwilder, J., Contartese, V., Karlova, R., & Bertea, C. M. (2021). The application of a biostimulant based on tannins affects root architecture and improves tolerance to salinity in tomato plants. *Scientific Reports*, *11*(1), 354.

Ceylan, Y., Kutman, U. B., Mengutay, M., & Cakmak, I. (2016). Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. *Plant Soil, 406*(1-2), 145-156.

Ding, Y. C., Chang, C. R., Luo, W., Wu, Y. S., Ren, X. L., Wang, P., & Xu, G.H. (2008). High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. *Pedosphere*, *18*(3), 316-327.

Del Pozo, A., Pérez, P., Gutiérrez, D., Alonso, A., Morcuende, R., & Martínez-Carrasco, R. (2007). Gas exchange acclimation to elevated CO_2 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*, *59*(3), 371-380.

FAO. (2023). Production/yield quantities of cucumber and gherkins in Iran (Islamic Republic of Iran).

Hassan, S. M., Ashour, M., Sakai, N., Zhang, L., Hassanien, H. A., Gaber, A., & Ammar, G. (2021). Impact of seaweed liquid extract biostimulant on growth, yield, and chemical composition of cucumber (*Cucumis sativus*). *Agriculture*, *11*(4), 320.

Hermans, C., Johnson, G. N., Strasser, R. J., & Verbruggen, N. (2004). Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta*, *220*(2), 344-355.

Hu, J. B., Li, J. W., Wang, L. J., Liu, L. J., & Si, S. W. (2011). Utilization of a set of high-polymorphism DAMD markers for genetic analysis of a cucumber germplasm collection. *Acta Physiologiae Plantarum*, *33*(1), 227-231.

Jacob, R. H., Afify, A. S., Shanab, S. M., & Shalaby, E. A. (2024). Chelated amino acids: biomass sources, preparation, properties, and biological activities. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(3), 2907-2921.

Karami, A., Shabani, E., & Alemzadeh Ansari, N. (2024). The effect of magnesium aminochelate and seaweed (*Sargassum angustifolium*) on improving growth and quality characteristics of cucumber in magnesium-deficient nutrient solution. *Journal of Plant Production Research*, *31* (1), 149-170. (In Persian).

Kayama, M., Quoreshi, A.M., Uemura, S., & Koike, T. (2005). Difference in growth characteristics and dynamics of elements absorbed in seedlings of three Spruce species raised on serpentine soil in northern Japan. *Annals of Botany*, *95*, 661-672.

Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, *28*, 386–399.

Mahmoud, R. A., El-Desuki, M., Mona, M. A. M., & Aisha, H. A. (2013). Effect of compost levels and yeast extract application on the pea plant growth, pod yield and quality. *Journal of Applied Sciences Research*, *9*(1): 149-155.

Mannino, G., Campobenedetto, C., Vigliante, I., Contartese, V., Gentile, C., & Bertea, C. M. (2020). The application of a plant biostimulant based on seaweed and yeast extract improved tomato fruit development and quality. *Biomolecules*, *10*(12), 1662.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants 2nd edn. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim: Germany.

Maathuis, F.J.M. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, *12*, 250–258.

Mohkami, A., & Habibi-Pirkoohi, M. (2019). Inhibitory effect of the brown seaweed Sargassum angustifolium extraction on growth and virulence factors of staphylococcus aureus. *Plant, Algae, and Environment*, *3*(2), 421-431.

Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*, 104-118.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Olympios, C. M., & Choukr-Allah, R. (1999). Overview of soilless culture: advantages, constraints, and perspectives. *Protected Cultivation in the Mediterranean Region*, *31*,307-324.

Prakash, P., Medhi, S., Saikia, G., Narendrakumar, A., Thirugnanasambandam, L., & Abraham, S. (2014). Production, formulation and application of seaweed liquid fertilizer using humic acid on growth of *Arachis hypogaea*. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *11*(3): 1515-1519.

Regulation, E. U. (2019). Regulation of the European parliament and of the council laying down rules on the making available on the market of EU fertilizing products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. *Journal of the European Union*, *2019*, 114.

Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production. A definitive guidebook of soilless food-growing methods* (No. Ed. 5, pp. 527-pp). Woodbridge press publishing company.

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science, 11, 40.

Saeed, S., & Mirzaei, M. (2014). The effect of consuming *Ascophyllum nodosum* seaweed extract on increasing the quality and quantity of pistachio fruit, First National Pistachio Conference of Iran, Kerman, Iran. (In Persian)

Seilsepour, M. (2022). Study of the effect of different methods of application of humic acid and aminochelate on growth characteristics, yield, and concentration of nutrients in greenhouses cucumber var. supersultan. *Journal of Crop Improvement*, *24*(2), 673-684 (In Persian).

Shokohian, A. A. (2005). Growing greenhouse cucumbers in soil and soilless cultivation environments. Cultural Institute, Yavarian Publications, 218 pages (In Persian).

Shokoohifar, Y., Tehrani, M. M., Hassanpour, R., & Mohsen Nasab M. (2015). Application of algae in sustainable agriculture. Second international conference on sustainable development, solutions and challenges with a focus on agriculture, natural resources, environment and tourism. Tabriz. Iran. (In Persian).

Shukla, P. S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2018). Seaweed extract improves drought tolerance of soybean by regulating stress response genes. *AoB PLANTS*, *10*, plx051.

Sotoodeh, A., Saki Nejad, T., Shokuhfar, A., Lak, S. H., & Majaddam M. (2022). Effect of foliar application of magnesium and potassium sulfate on morphological, biochemical and yield characteristics of maize (*Zea mays* L.) during water deficient stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16*(63), 307-324.

Souri, M. K., & Yarahmadi, B. (2016). Effect of amino chelates foliar application on growth and development of marigold (Calendula officinalis) plants. *Plant Production Technology*, *15*(2), 109-119.

Toor, M.D., Adnan, M., Javed, M.S., Habibah, U., Arshad, A., Din, M.M., & Ahmad, R. (2020). Foliar application of Zn: Best way to mitigate drought stress in plants; A review. *International Journal of Applied Research*, *6*(8), 16-20.

Torab Ahmadi, S., Abedy, B., & Saberali, S. F. (2019). Effect of foliar spray with a fertilizer containing amino acids and seaweed extract on quality and yield components of Ahmad Aghaei pistachio. *Research in Pomology*, *4*(2), 95-106 (in Persian).

Tuna, A. L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S., & Girgin, A. R. (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, *62*(1), 10-16.

Turner, T., Bourne, E., Von Wettberg, E., Hu, T., & Nuzhdin, S. (2010). Population resequencing reveals local adaptation of *Arabidopsis lyrata* to serpentine soils. *Nature Genetics*, *42*, 260-263.

Uthirapandi, V., Boomibalagan, P., Eswaran, S., Ramya, S. S., Vijayanand, N., Rathinavel, S., & Kathiresan, D. (2019). Biofertilizing potential of seaweed liquid extracts of marine macro algae on growth and biochemical parameters of *Andrographis paniculata*. *Plant Archives* (09725210), *19*(2).

Wang, Z., Hassan, M. U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F., & Li, X. (2019). Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1727.

Wasaya, A., Affan, M., Yasir, T.A., Sheikh, G.R., Aziz, A., Baloach, A.W, Nawaz, F., & Adnan, M. (2019). Growth and economic return of maize (*Zea mays* L.) with foliar application of potassium sulphate under rainfed conditions. *Journal of Environmental and Agriculture*, *4*(1), 268-374.

Xu, C., & Leskovar, D.I. (2015). Effects of A.nodosum seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *183*, 39-47.

Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 2049.

Zheng, S., Jiang, J., He, M., Zou, S., & Wang, C. (2016). Effect of kelp waste extracts on the growth and development of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Scientific Reports*, *6*(1), 38683.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 27 (1): 17-32 (2025)
Research article

The effect of seaweed biostimulant and magnesium aminochelate on yield, photosynthetic and nutrient uptake characteristics of cucumber under magnesium deficiency conditions

Ali Karami[1], Edris Shabani*[2] and Naser Alemzadeh Ansari[3]
1,2,3- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author, Email: (edris.shabani@scu.ac.ir)

The excessive use of high-potassium fertilizers to improve fruit weight and color in Iranian greenhouse units has made magnesium deficiency a major challenge. This issue is further intensified by poor irrigation water quality, characterized by high levels of bicarbonate and salinity, and by high competition for nutrient absorption between vegetative and reproductive parts during the mid-season. High light intensity in greenhouses in southern Iran increases the plant's need for magnesium and exacerbates its deficiency due to an increase in the rate of photosynthesis and carbohydrate production. In this regard, an experiment was conducted in the autumn and winter of 2022-2023 in the educational-research greenhouse of Shahid Chamran University of Ahvaz in the form of a split-plot design in a randomized complete block design with three replications in order to improve the photosynthetic, yield and elemental indices of cucumber using seaweed biostimulants and magnesium aminochelate under magnesium stress conditions. The experimental treatments included foliar spraying of different concentrations of brown seaweed (*Sargassum angustifolium*) (0, 1.5 and 3 g L^{-1}) (as a main plot) and magnesium aminochelate (0, 2.5 and 5 mL L^{-1}) (as a subplot). Foliar spraying of seaweed and magnesium aminochelate began two weeks after transplanting and continued once a week until one week before the end of harvest. The results of this experiment showed that the use of 3 g L^{-1} seaweed and 5 mL L^{-1} magnesium aminochelate treatment ($G_3 \times Mg_5$), compared to the control treatment ($G_0 \times Mg_0$), increased chlorophyll a by 186.27% and total chlorophyll by 151.19%, respectively. Furthermore, the highest photosynthetic rate (10.05 µmol $m^{-2}.s^{-1}$) was observed in the $G_3 \times Mg_5$ treatment, whereas the lowest rate (3.53 µmol $m^{-2}.s^{-1}$) was recorded in the control treatment. The highest and lowest yield was observed with 3038 and 1503 g $plant^{-1}$, respectively, in the $G_3 \times Mg_5$ and $G_0 \times Mg_0$ treatments, which resulted in a 102% increase in yield. In all seaweed levels, the magnesium concentration of cucumber increased significantly with increasing levels of magnesium aminochelate foliar application, such that foliar application of the $G_3 \times Mg_5$ treatment increased the magnesium concentration of greenhouse cucumber leaf tissues by 115% compared to the control treatment. According to the results of the present experiment, the use of 3 g L^{-1} of *Sargassum angustifolium* seaweed extract and 5 mL L^{-1} of magnesium aminochelate is recommended to improve the physiological, photosynthetic, and yield indices of greenhouse cucumber under magnesium deficiency conditions.

Keywords: Chlorophyll, Cucumber, Magnesium, Seaweed, Soilless culture, Yield.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]