

## Effects of Gypsum and Cocopeat on Some Physiological Characteristics and Growth of Spinach in Hydroponics Culture under Saline and Non-saline Conditions

Nosratollah Najafi<sup>1\*</sup>, Sajjad Elmi<sup>2</sup>, Shahin Oustan<sup>1</sup>, Ali Lotfollahi<sup>3</sup>

Received: 16 June 2023 Accepted: 09 November 2023

1-Prof., Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

2-Former Graduate Student, Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

3-Laboratory Expert, Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

\*Corresponding Author Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir

### Abstract

**Background & Objective:** The salinity of soil and water is one of the most important abiotic stresses in Iran and other parts of the world, which reduces the growth and yield of plants like spinach (*Spinacia oleracea* L.). To the best of our knowledge, the use of cocopeat and gypsum can enhance the salinity tolerance of plants. This research was carried out to investigate the effects of gypsum, cocopeat, and sodium chloride salinity on some physiological and growth characteristics of spinach cv. Virofly.

**Materials & Methods:** The experiment was conducted in a factorial combination (4×2×2) based on a completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. The perlite substrate and modified Hoagland's nutrient solution were used for hydroponic cultivation of spinach plants. The experimental factors were: gypsum (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) at four levels (0, 3, 9, and 27%, w:w), sodium chloride salinity at two levels (0 and 110 mM in nutrition solution), and Sri Lanka cocopeat at two levels (0 and 15%, w:w).

**Results:** The effect of gypsum on the studied characteristics depended on the level of gypsum, cocopeat, and salinity. The use of 3% gypsum had no significant effect on the root and shoot dry matters, plant height, and leaves number. Unexpectedly, the use of 9 and 27% gypsum significantly reduced these characteristics under saline and non-saline conditions. In treatments with cocopeat, quadratic non-linear regression relationships were observed between gypsum levels and root and shoot dry matters, plant height, number of leaves, leaf chlorophyll index, and leaf chlorophyll fluorescence. The effect of salinity on the studied characteristics was different regardless of presence or absence of cocopeat. The effect of cocopeat was significant on all the studied characteristics, but its effect depended on the level of salinity and gypsum.

**Conclusion:** The sensitivity of spinach plant root to sodium chloride salinity stress was greater than that of shoot. The use of cocopeat in perlite medium is not recommended for hydroponic cultivation of spinach because of the increase in salinity at the level of 15%, w:w. In the treatments with cocopeat, high levels of gypsum decreased root and shoot dry matters, plant height, number of leaves, leaf chlorophyll index and leaf chlorophyll fluorescence. The application of gypsum and cocopeat could not improve spinach plant tolerance to salinity in the studied levels. It is suggested to conduct more investigations with lower levels of gypsum, lower concentrations of calcium and sulfate in the nutrient solution, and application of other types of cocopeats under saline and non-saline conditions.

**Keywords:** Cocopeat, Gypsum, Hydroponics, Perlite, Salinity, Spinach

## اثر گچ و کوکوپیت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رشد اسفناج در کشت هیدروپونیک در شرایط شور و غیر شور

نصرت اله نجدفی<sup>۱\*</sup>، سجاد علمی<sup>۲</sup>، شاهین اوستان<sup>۱</sup>، علی لطف الهی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- کارشناس آزمایشگاه، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبه: E-mail: nanajafi@yahoo.com, n-najafi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** شوری آب و خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در ایران و بسیاری از نقاط جهان است که رشد و عملکرد گیاهان از جمله اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) را کاهش می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده‌است که مصرف کوکوپیت و گچ می‌تواند تحمل گیاه در برابر شوری را افزایش دهد. این پژوهش برای بررسی اثر گچ، کوکوپیت و شوری سدیم کلرید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رشد اسفناج رقم ویروفلی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش به صورت فاکتوریل  $4 \times 2 \times 2$  و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. برای کشت هیدروپونیک گیاهان اسفناج از بستر پرلیت و برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی تغییر یافته هوگلند استفاده شد. فاکتورهای آزمایش شامل گچ ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) در چهار سطح صفر، ۳، ۹ و ۲۷ درصد (جرمی:جرمی)، شوری در دو سطح صفر و ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید در محلول غذایی و کوکوپیت سری‌لانکا در دو سطح صفر و ۱۵ درصد (جرمی:جرمی) بودند.

**یافته‌ها:** اثر گچ بر ویژگی‌های مورد مطالعه به سطح گچ، کوکوپیت و شوری بستگی داشت. مصرف ۳ درصد گچ بر ماده خشک ریشه و شاخساره، ارتفاع گیاه و تعداد برگ اثر معنادار نداشت. مصرف ۹ و ۲۷ درصد گچ این ویژگی‌ها را برخلاف انتظار در هر دو شرایط شور و غیرشور به‌طور معنادار کاهش داد. در تیمارهای دارای کوکوپیت، میان سطح گچ و ماده خشک ریشه و شاخساره، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، شاخص کلروفیل و فلورسانس کلروفیل برگ رابطه‌های رگرسیونی غیرخطی درجه دو مشاهده شد. اثر شوری بر ویژگی‌های مورد مطالعه در شرایط با و بدون کوکوپیت متفاوت بود. اثر کوکوپیت بر تمام ویژگی‌های مورد مطالعه معنادار بود اما نحوه اثر آن به سطح شوری و گچ بستگی داشت.

**نتیجه‌گیری:** حساسیت ریشه گیاه اسفناج به تنش شوری سدیم کلرید بیشتر از شاخساره بود. استفاده از کوکوپیت در بستر پرلیت، به دلیل افزایش شوری، برای کشت هیدروپونیک گیاه اسفناج در سطح ۱۵ درصد جرمی توصیه نشد. در تیمارهای دارای کوکوپیت، سطوح بالای گچ باعث کاهش ماده خشک ریشه و شاخساره، ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص کلروفیل برگ و فلورسانس کلروفیل برگ شد. استفاده از گچ و کوکوپیت در سطوح مورد مطالعه نتوانست تحمل گیاه به شوری را بهبود دهد. انجام پژوهش‌های بیشتر با سطوح کمتر گچ و کوکوپیت، غلظت کمتر کلسیم و سولفات در محلول غذایی و استفاده از کوکوپیت‌های دیگر در شرایط شور و غیرشور پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** اسفناج، پرلیت، شوری، کوکوپیت، گچ، هیدروپونیک

## مقدمه

شوری آب و خاک از مهم‌ترین مشکل‌های تولید محصول‌های زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (نجفی و سرهنگ‌زاده ۲۰۱۲). تنش شوری با سازوکارهای مختلف سبب کاهش رشد، عملکرد و حتی مرگ گیاهان می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش غلظت یون‌های مختلف به‌ویژه سدیم و کلرید و سمیت ناشی از آن‌ها در یاخته‌های گیاه، تولید گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش جذب عنصرهای غذایی به‌وسیله ریشه گیاه و مختل شدن تغذیه گیاه، مختل شدن جذب آب و ایجاد خشکی فیزیولوژیک، رشد آن را کاهش می‌دهد (گراتان و گریو ۱۹۹۲، مارشنر ۲۰۱۲، نجفی و سرهنگ‌زاده ۲۰۱۲).

اسفناج با نام علمی (*Spinacia oleracea* L.) و از تیره Chenopodiaceae از مهم‌ترین سبزی‌های برگ‌ی است که به‌صورت تازه و یا فراوری‌شده مصرف می‌شود. این گیاه ارزش غذایی بالایی دارد، به‌طوری‌که غنی از ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین C و عنصرهای معدنی است. کشت این گیاه به روش هیدروپونیک رایج است (عرفانی و همکاران ۲۰۰۶، نجفی و همکاران ۲۰۱۰a,b). اسفناج گیاهی علفی، دولپه‌ای، یک‌ساله و روزبلند است که نسبت به شوری حساسیت متوسطی دارد. آستانه تحمل شوری (از نظر قابلیت هدایت الکتریکی یا EC) این گیاه در عصاره اشباع خاک ۲ dS/m است (ماس و هافمن ۱۹۷۷).

گچ ماده‌ای ارزان‌قیمت و در دسترس است که حاوی یون‌های کلسیم و سولفات است و این یون‌ها برای تغذیه و رشد گیاهان ضروری هستند. کلسیم در ساختمان دیواره یاخته و پایداری غشای یاخته و گوگرد در سوخت‌وساز کربوهیدرات، تشکیل چربی و زیست‌سازی پروتئین نقش دارند (مارشنر ۲۰۱۲). با مصرف ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار گچ در شرایط شور، یون‌های کلسیم و سولفات حاصل از حل شدن آن سبب کاهش جذب کاتیون‌ها و آنیون‌های دیگر مانند سدیم و کلرید به‌وسیله ریشه گیاهان، بهبود پایداری غشای یاخته، افزایش توان انتخابگری غشای یاخته و کاهش

نشست الکتروولت می‌شود. در نتیجه، مصرف گچ می‌تواند تحمل گیاه در برابر شوری را افزایش دهد (بولات و همکاران ۲۰۰۶). تونا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مصرف گچ با غلظت ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار در کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید، اثر منفی شوری بر رشد گیاه را کاهش داد. وانگ و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که مصرف گچ در یک خاک آبیاری شده با آب شور، باعث افزایش EC محلول خاک و غلظت پرولین و نشاسته گیاه خیار شد اما بر بسیاری از ویژگی‌های رشد گیاه از جمله زیست‌توده ریشه و شاخساره اثر معنادار نداشت. چودهری و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مصرف گچ تولید محصول گیاهان نیشکر آبیاری شده با آب سدیمی را بیشتر از گیاهان آبیاری شده با آب شور افزایش داد. هو و شمیت‌هالتر (۱۹۹۷) مشاهده کردند که با افزایش شوری محلول غذایی هوکلند، غلظت Ca و K برگ‌های گندم کاهش یافت؛ اما با افزایش غلظت عنصرهای غذایی پرمصرف (۰/۴، ۰/۲ و ۱ برابر محلول غذایی هوکلند) از جمله کلسیم و سولفات در محلول غذایی، شدت این کاهش کم شد. گراتان و گریو (۱۹۹۲) گزارش دادند که استفاده از عنصرهای غذایی در بستر کشت می‌تواند تحمل گیاهان در برابر شوری را تا حدودی بهبود بخشد.

کوکوپیت یکی از بسترهای آلی مورد استفاده در کشت هیدروپونیک است (آونگ و همکاران ۲۰۰۹) که در جذب و نگهداری یون‌ها و آب توان خوبی دارد (وود و همکاران ۱۹۹۳). pH کوکوپیت بین ۴/۸ تا ۶/۹ متغیر است (آباد و همکاران ۲۰۰۲). رضایی و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که مصرف کوکوپیت + پرلیت در بستر کشت هیدروپونیک نسبت به فقط پرلیت، رشد گیاهان گل رز را افزایش داد و بیش‌ترین تعداد گل در بوته نیز در این بستر کشت مشاهده شد. روستا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از سطح زیاد کوکوپیت (۷۵ درصد) همراه پرلیت (۲۵ درصد) ارتفاع گیاه رز را کاهش و ماده خشک ریشه و شاخساره و فلورسانس کلروفیل برگ‌ها را افزایش داد. آنان بستر کشت پرلیت + کوکوپیت را به‌عنوان بستر

کردند که از بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) می‌توان به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی اثر تنش شوری بر گیاهان زیتون، خانواده چلیپاییان و ماش استفاده کرد.

باتوجه به محدودیت منابع آب و خاک مناسب برای کشاورزی و رشد روزافزون جمعیت و افزایش غذای مورد نیاز انسان، لازم است از خاک یا آب شور در تولید محصولات کشاورزی در ایران استفاده شود زیرا با وجود مساحت زیاد کشور، مساحت خاک خوب برای کشاورزی کم است. همچنین، در جاهایی که خاک مناسب برای کشاورزی وجود ندارد، می‌توان کشت‌های گلخانه‌ای و هیدروپونیک را توسعه داد. از طرف دیگر، در کشت هیدروپونیک گیاهان، بر اثر مصرف محلول غذایی حاوی یون‌های مختلف در بسترهای جامد و تبخیر آب، غلظت یون‌ها در بستر و شوری آن افزایش می‌یابد. بنابراین، لازم است راه‌هایی برای افزایش تحمل گیاهان در برابر شوری در کشت هیدروپونیک ارائه شود. انتظار این است که مصرف کوکوپیت و گچ بتواند تحمل گیاه را در برابر شوری افزایش دهد. استفاده از گچ در این پژوهش به‌عنوان بخشی از بستر جامد کشت گیاه به‌روش هیدروپونیک انجام نشد بلکه چون خاک یک محیط پیچیده است و تفسیر نتایج را با مشکل مواجه می‌کند، برای راحتی تفسیر نتایج، گچ به بستر کشت هیدروپونیک افزوده شد. بنابراین، در این پژوهش اثر متقابل شوری سدیم کلرید، گچ و کوکوپیت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشد اسفناج بررسی شد. مرور منابع نشان داد که تا کنون چنین مطالعه‌ای در ایران و جهان انجام نشده است.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل  $4 \times 2 \times 2$  و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در گلخانه پژوهشی گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در در پاییز و زمستان ۱۳۹۸ و با کشت هیدروپونیک گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) رقم ویروفلای انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کوکوپیت

مناسب برای کشت هیدروپونیک گل رز رقم گراندگالا معرفی کردند. پارا و همکاران (۲۰۲۲) بیان داشتند که از کوکوپیت به‌دلیل پایداری فیزیکی آن، ظرفیت نگهداری آب کافی و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد در بستر کشت گیاهان استفاده می‌شود. آنان مشاهده کردند که استفاده از کوکوپیت در بستر کشت بدون خاک سبب افزایش رشد و محصول میوه درختان خرما شود.

فلورسانس کلروفیل، میزان سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی فرایند انتقال الکترون در فتوسیستم II و فتوسیستم I در فتوستنز را نشان می‌دهد (ممنوعی و شریفی ۲۰۱۰). بنابراین، از فلورسانس کلروفیل برگ‌ها برای تشخیص وضعیت فیزیولوژیکی گیاهانی که در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی رشد می‌کنند، استفاده می‌شود (شین و همکاران ۲۰۲۱). میزان فلورسانس کلروفیل برگ، توانایی گیاه در تحمل تنش‌های محیطی و میزان خسارت تنش به گیاه را به‌خوبی می‌تواند نشان دهد. نسبت فلورسانس متغیر به بیشینه فلورسانس برگ‌ها (Fv/Fm) نشانگر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II است و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند، در گستره ۰/۶۵ تا ۰/۸۵ است. اگر گیاه در شرایط تنش خشکی، شوری و غیره قرار گیرد، مقدار این شاخص کاهش می‌یابد (ژائو و همکاران ۲۰۰۷، جوادی‌پور و همکاران ۲۰۱۳). با این حال، نتایج بررسی‌ها در مورد تأثیر شوری بر فلورسانس کلروفیل برگ متفاوت است. برای مثال، میسرا و همکاران (۱۹۹۱) در گیاه گندم و جیمز و همکاران (۱۹۹۷) در گیاه رز مشاهده کردند که اثر شوری بر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II معنادار نبود. در برابر، میسرا و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند که شوری سدیم کلرید باعث کاهش بیشینه فلورسانس کلروفیل (Fm) a شد. ژائو و همکاران (۲۰۱۹) نیز مشاهده کردند که با افزایش سطح شوری سدیم کلرید، فلورسانس کلروفیل برگ‌های گیاه گینگو یا کهن‌دار کاهش یافت. شین و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که شوری بر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II برگ‌های هندوانه اثری قابل ملاحظه داشت. بونگی و لورتو (۱۹۸۹) و میسرا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش

در دو سطح صفر و ۱۵ درصد (جرمی:جرمی)، گچ در چهار سطح صفر، ۳، ۹ و ۲۷ درصد (جرمی:جرمی) و شوری در دو سطح صفر و ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید (به ترتیب قابلیت هدایت الکتریکی (EC) حدود ۲ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) در محلول غذایی بودند. انتخاب سطح گچ بر اساس مطالعه شیخی شهریور و خادمی (۲۰۱۸) و انتخاب سطح شوری بر اساس ماس و هافمن (۱۹۷۷) و فریرا و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد. در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی دو لیتری و برای هر گلدان از ۱۸۰ گرم پرلیت دانه‌ریز (۰/۵ تا ۱ میلی‌متر) به‌عنوان بستر کشت هیدروپونیک استفاده شد. گچ یا کلسیم سولفات دی‌هیدرات با فرمول شیمیایی  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  از شرکت Merck آلمان تهیه و پودر آن با بسترهای پرلیت و پرلیت+کوکوپیت به‌خوبی مخلوط شد. کوکوپیت سری‌لانکا از شرکت مهندسی باغ زرین کشت تبریز تهیه و ویژگی‌های آن تعیین شدند (گابریلز و همکاران ۱۹۹۳، پیترز ۲۰۰۳). برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی تغییر یافته هوگلند و آرنون (۱۹۵۰) استفاده شد. همچنین، ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده تعیین شد (گوپتا ۲۰۱۶). باتوجه به اینکه غلظت روی (Zn) در آب آبیاری مورد استفاده در گلخانه (آب لوله‌کشی) ۰/۸ میلی‌گرم در لیتر (بیشتر از غلظت رایج آن در محلول‌های غذایی) بود، در تهیه محلول غذایی از Zn استفاده نشد. به نظر می‌رسد حضور Zn در آب آبیاری مورد استفاده در گلخانه ناشی از پوسیدگی لوله‌های انتقال آب و آزاد شدن Zn از آن‌ها است. گیاه اسفناج متحمل زیادی Zn است و وقتی غلظت Zn در این گیاه به ۹۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌رسد، رشد و تولید محصول آن، فقط ۱۰ درصد کم می‌شود (چانی ۱۹۹۳). بنابراین، استفاده از چنین آبی در تولید محصول اسفناج نه تنها ممکن است رشد آن را کاهش ندهد بلکه این مزیت را خواهد داشت که محصول تولید شده غنی از Zn خواهد بود و در زنجیره غذایی نیاز انسان‌ها به Zn را به‌طور ایمن تأمین خواهد کرد.

هنگام کشت، ابتدا بذرهای گیاه اسفناج با اندازه‌های یکسان و عاری از آسیب و شکستگی، با آب شسته شدند و برای ضدعفونی به‌مدت دو دقیقه در

محلول ۰/۵ درصد سدیم هیپوکلریت قرار داده شدند. سپس بذرها سه بار با آب مقطر شسته شدند. در مرحله بعد، بذرها به‌مدت دو روز در لای پارچه متقالی خیس برای جوانه‌زنی قرار داده شدند. بذرهای جوانه‌دار شده، به تعداد ۱۲ عدد در گلدان‌های حاوی پرلیت و تیمارهای مختلف، کشت شدند. بعد از استقرار گیاهان در گلدان‌ها، با تنک کردن، تعداد گیاهان در هر گلدان به پنج عدد کاهش یافت. سپس گیاهان به‌مدت دو هفته با محلول غذایی یک‌سوم هوگلند تغییر یافته با  $pH=6.5$  آبیاری شدند. با این کار، آب و کود باهم مصرف شدند (کودآبیاری) که به دلیل رابطه هم‌افزایی میان آن دو، انتظار این است که گیاه رشد بهتری داشته باشد. پس از طی این مدت، گیاهان با محلول غذایی نصف هوگلند تغییر یافته با  $pH=6.5$  تغذیه شدند. عدم استفاده از محلول غذایی کامل برای جلوگیری از شورشیدن بستر کشت بود. در سایر مراحل رشد گیاهان، ۹ بار و هر بار ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند کامل در هر گلدان مصرف شد. غلظت عنصرهای غذایی در محلول غذایی هوگلند برای هر دو شرایط شور و غیرشور یکسان بود. در اواخر دوره رشد ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل برگ‌ها (با دستگاه کلروفیل‌سنج ساخت شرکت Hansatech مدل CL-01 کشور انگلستان)، فلورسانس کلروفیل برگ‌ها (با دستگاه فلورسانس‌سنج ساخت شرکت Hansatech مدل Hand pea کشور انگلستان) و تعداد برگ‌ها و پس از برداشت گیاهان از محل طوقه، ماده خشک شاخساره و ریشه گیاه اندازه‌گیری شدند. شاخص کلروفیل در ۱۰ برگ کاملاً توسعه‌یافته جوان در هر گلدان تعیین و از میانگین آن‌ها برای تحلیل آماری استفاده شد. فلورسانس کلروفیل برگ‌ها، یک ماه بعد از اعمال تنش شوری در ابتدای صبح و در برگ‌های انتهایی کاملاً توسعه‌یافته که به‌مدت ۲۰ دقیقه به‌وسیله گیره‌های مخصوص در تاریکی قرار گرفته بودند، اندازه‌گیری شد. تحلیل آماری داده‌ها و تحلیل رگرسیون با نرم‌افزارهای SPSS و MSTATC و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. برای انجام تحلیل آماری، ابتدا آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها و سپس تجزیه واریانس و بعد از آن مقایسه میانگین‌ها با آزمون

چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

### نتایج و بحث

غلظت عنصرها در محلول غذایی و ترکیب‌های مورد استفاده در تهیه آن در جدول ۱ ارائه شده است. برخی ویژگی‌های شیمیایی کوکوپیت و آب مورد

استفاده در این آزمایش به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. با توجه به استانداردهای ارائه شده به وسیله واترز و همکاران (۱۹۷۲)، کیفیت این آب در گروه خوب قرار می‌گیرد و می‌توان از آن در تهیه محلول‌های غذایی و آبیاری گیاهان استفاده کرد.

جدول ۱- غلظت عنصرها در محلول غذایی و ترکیب‌های مورد استفاده در تهیه آن (تغییریافته هوکلند و آرنون، ۱۹۵۰).

غلظت (mg/L)	ترکیب مورد استفاده	عنصر
۲۰	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> -N
۲۰۰	KNO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O, Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> -N
۳۸	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	P
۲۰۴	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , KNO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K
۱۹۰	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	Ca
۸۸	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O, MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Mg
۳۶	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O, CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O, MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O, ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O, NiSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O	S
۰/۵	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	B
۰/۱۴	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	Cu
۳	Fe-DTPA (% 10)	Fe
۰/۵	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	Mn
۰/۰۱	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	Mo
۰/۰۱	NiSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O	Ni

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کوکوپیت مورد استفاده در پژوهش حاضر

ماده آلی	EC <sub>1:5</sub> (dS/m)	pH <sub>1:5</sub>	غلظت عنصر (mg/kg)										
			مس	منگنز	نیکل	روی	آهن	سدیم	منیزیم	کلسیم	فسفر	پتاسیم	نیترژن
(%)	۱/۸۶	۵/۶	۹	۱۹	۸/۶	۱۱۰	۱۲۵۷	۵۰۱	۱۱۴۹	۵۴۳	۲۶۷	۱۹۷۰	۵۶۰۰

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در گلخانه

غلظت عنصر (mg/L)							EC (dS/m)	pH	
مس	منگنز	روی	آهن	سدیم	منیزیم	کلسیم			
۰/۱	ناچیز	۰/۸	ناچیز	۱۶/۵	۷/۴	۵/۷	۴/۹	۰/۴۹	۶/۹۷

### ماده خشک شاخساره

بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر مصرف گچ بر ماده خشک شاخساره اسفناج بسته به سطح کوکوپیت، سطح شوری و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و مصرف کوکوپیت، مصرف سه درصد گچ در بستر کشت، ماده خشک شاخساره را نسبت به شاهد افزایش داد اما مصرف ۲۷ درصد گچ،

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی گچ، کوکوپیت و شوری و اثرهای متقابل دوجانبه گچ × کوکوپیت، گچ × شوری و کوکوپیت × شوری و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه بر ماده خشک شاخساره اسفناج در سطح احتمال پنج درصد معنادار

عدم مصرف کوکوپیت، مصرف گچ بر ماده خشک شاخساره اثر معناداری نداشت (شکل ۱).

آن را کاهش داد. در شرایط شور با و بدون مصرف کوکوپیت، مصرف سطح‌های مختلف گچ، ماده خشک شاخساره را کاهش داد. در شرایط غیرشور و

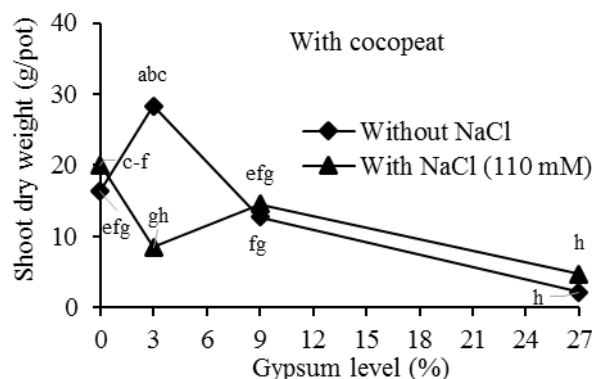
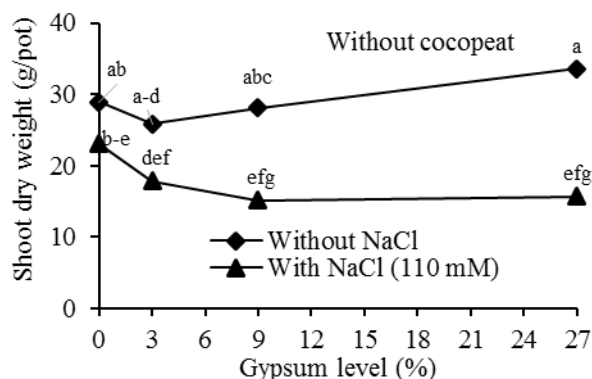
جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر گچ، کوکوپیت و شوری بر ماده خشک شاخساره و ریشه، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه، شاخص کلروفیل برگ، فلورسانس کلروفیل برگ، تعداد برگ و ارتفاع گیاه.

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک شاخساره	ماده خشک ریشه	نسبت شاخساره به ریشه	شاخص کلروفیل	فلورسانس کلروفیل	تعداد برگ در بوته	ارتفاع گیاه
گچ (G)	۳	۱۴۵/۹*	۱/۰۲ <sup>ns</sup>	۱/۹ <sup>ns</sup>	۵۷/۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۱۵۶۶۱*	۲۲۶/۵*
کوکوپیت (C)	۱	۱۲۱۵/۹*	۱۹/۷*	۱۵/۳۶*	۷۵۶/۸*	۰/۰۱۴*	۱۳۴۱۹*	۲۸۷/۱*
شوری (S)	۱	۶۰۲/۴*	۱۳/۴۳*	۱۷/۵۲*	۲۵۲/۱*	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۱۲۵۳۵*	۷۷۷/۱*
G × C	۳	۱۷۷/۱*	۷/۶*	۴۸/۳۷*	۲۶۲/۰*	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۸۶۷/۷ <sup>ns</sup>	۲۶/۸ <sup>ns</sup>
G × S	۳	۸۴/۷*	۰/۷۸۲ <sup>ns</sup>	۲/۵۴ <sup>ns</sup>	۶۴/۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۳۸۱۰/۱ <sup>ns</sup>	۳۲/۵ <sup>ns</sup>
C × S	۱	۲۰۳/۵*	۰/۱۴۴ <sup>ns</sup>	۹۷/۱۶*	۳۹۲/۴*	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۱۲۶۶۳/۰*	۵۹۶/۹*
G × C × S	۳	۱۴۹/۰*	۰/۹۸۴ <sup>ns</sup>	۱۶/۲۷*	۱۲۸/۵*	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۵۰۲۶ <sup>ns</sup>	۱۰۸/۱ <sup>ns</sup>
خطا	۳۲	۲۱/۰	۰/۵۹۵	۰/۹۲۸	۴۰/۳	۰/۰۰۱	۳۰۹۴	۵۵/۲
ضریب تغییرات (%)		۲۴/۸	۳۶/۵	۱۰/۳	۳۲/۱	۵/۶	۵۷/۲	۴۳/۸

<sup>ns</sup> و \* به ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال پنج درصد است.

بهرتر کاهش می‌دهد (شانون ۱۹۹۷). مشابه نتایج ما، لی و موج (۲۰۱۳) گزارش کردند که با افزایش سطح گچ مصرفی، ماده خشک شاخساره گیاه ابتدا تغییر معناداری نکرد اما در سطوح بالاتر کاهش یافت. به نظر می‌رسد کاهش ماده خشک شاخساره در حضور غلظت زیاد گچ به کاهش جذب و غلظت فسفر از طریق رسوب آن با کلسیم، جذب سطحی فسفات، آهن و برخی عنصرهای غذایی به وسیله پودر گچ و کاهش غلظت آهن و برخی عنصرهای غذایی در گیاه مربوط است (یوسیتالو و همکاران ۲۰۱۲) که سبب مختل شدن تغذیه گیاه و کاهش رشد آن شده است. کاهش غلظت آهن گیاه می‌تواند به این دلیل باشد که در pH حدود ۸ و غلظت بالای یون کلسیم، کلسیم با آهن رقابت کرده و مانع از جذب آهن به وسیله گیاه می‌شود. همچنین، تشکیل زوج یون  $FeSO_4$  در حضور گچ می‌تواند سرعت جذب آهن را نسبت به یون  $Fe^{2+}$  کاهش دهد (مارشنر ۲۰۱۲).

با این حال، تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، میان سطح گچ و ماده خشک شاخساره اسفناج رابطه  $Shoot\ DM = -0.0343(Gypsum)^2 - 1.1713(Gypsum) + 22.298$ ,  $r = 0.98^*$  وجود داشت که نشان می‌دهد مصرف گچ ماده خشک شاخساره گیاه را به طور معنادار کاهش داد. برخلاف نتایج ما، افزایش ماده خشک شاخساره سه رقم آلی کشت شده به صورت هیدروپونیک با مصرف گچ در شرایط شوری سدیم کلرید، به وسیله بولات و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. آوادا و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که مصرف گچ در شرایط شوری سدیم کلرید ماده خشک شاخساره گیاه لوبیا سبز کشت شده در هیدروپونیک را بیش‌تر از مصرف کلسیم کلرید افزایش داد. با توجه به نقش کلسیم در ساختار دیواره و غشای یاخته‌ها (مارشنر ۲۰۱۲)، این افزایش را می‌توان به بهبود پایداری دیواره و غشای یاخته‌ها و کارکرد بهتر آن‌ها در حضور گچ نسبت داد (لیو و همکاران ۲۰۲۱). به نظر می‌رسد آنیون سولفات حاصل از حل شدن گچ با تشکیل زوج یون بیش‌تر نسبت به کلرید موجود در کلسیم کلرید، اثرهای منفی شوری بر گیاه را



شکل ۱- اثر متقابل شوری و گچ بر ماده خشک شاخساره در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده‌است.

تقسیم آن‌ها و رشد گیاه را مختل می‌کند (مورا و همکاران ۲۰۱۰).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر مصرف کوکوپیت بر ماده خشک شاخساره اسفناج بسته به سطح شوری و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و سطح‌های ۰، ۹ و ۲۷ درصد گچ و در شرایط شور و دو سطح ۳ و ۲۷ درصد گچ، مصرف کوکوپیت، ماده خشک شاخساره اسفناج را کاهش داد اما در سایر شرایط آزمایش اثر کوکوپیت بر ماده خشک شاخساره اسفناج معنادار نبود (شکل ۱). باین‌حال، افزایش ماده خشک شاخساره با مصرف کوکوپیت، در گیاه رز به‌وسیله روستا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده‌است. رحیمی و بیگری‌فرد (۲۰۱۱) با بررسی اثر چند بستر کشت بر گیاه گوجه‌فرنگی گزارش کردند که استفاده از مخلوط کوکوپیت و پرلیت، ماده خشک شاخساره را نسبت به پرلیت افزایش داد. محمدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که ماده خشک شاخساره گیاه عروسک پشت‌پرده در بستر کشت پرلیت + کوکوپیت بیش‌تر از کوکوپیت بود. کاهش ماده خشک شاخساره اسفناج در حضور کوکوپیت در بستر کشت را می‌توان به کاهش تهویه بستر کشت، افزایش شوری بستر کشت و مختل شدن جذب آب و عنصرهای غذایی نسبت داد. کوکوپیت مورد استفاده در این آزمایش از سریلانکا خریداری شده بود و حاوی نمک بود (جدول ۲). بنابراین، توصیه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر شوری ۱۱۰

میلی‌مولار سدیم کلرید محلول غذایی بر ماده خشک شاخساره بسته به سطح گچ و سطح کوکوپیت متفاوت بود. در شرایط عدم مصرف کوکوپیت و در سطح‌های ۳، ۹ و ۲۷ درصد گچ و در شرایط مصرف کوکوپیت و سطح ۳ درصد گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار، ماده خشک شاخساره اسفناج را نسبت به شاهد کاهش داد اما در سایر شرایط آزمایش اثر شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر ماده خشک شاخساره اسفناج معنادار نبود. شوری سدیم کلرید، ماده خشک شاخساره گیاه را نسبت به شاهد غیرشور در شرایط بدون کوکوپیت بیش‌تر از شرایط با کوکوپیت کاهش داد (شکل ۱). افزایش تحمل گیاه به شوری در حضور کوکوپیت را می‌توان به جذب یون‌های سدیم و کلرید به‌وسیله کوکوپیت و تشکیل زوج یون‌های بیشتر نسبت داد که سبب کاهش اثرهای سمی آن‌ها می‌شود. شوری سدیم کلرید سبب مختل شدن تغذیه گیاه، سمیت سدیم و کلرید و تولید گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش غلظت کلسیم گیاه و تخریب غشای یاخته‌ها و کاهش توان انتخابگری غشاها می‌شود. در نتیجه، رشد گیاه کاهش می‌یابد (مارشورن ۲۰۱۲). همچنین، شوری با افزایش لیگنین باعث ضخیم‌تر و سخت‌تر شدن دیواره یاخته‌های گیاه شده و با کاهش کشسانی آن، بزرگ شدن یاخته‌ها،



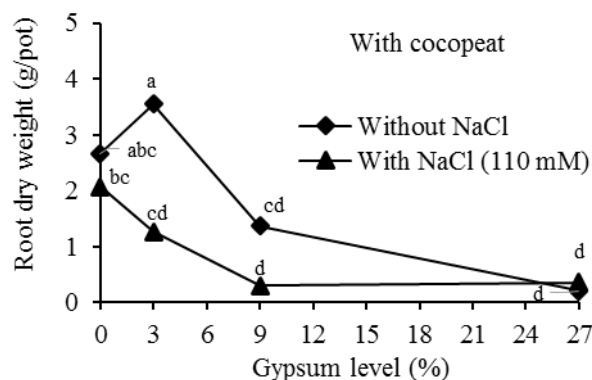
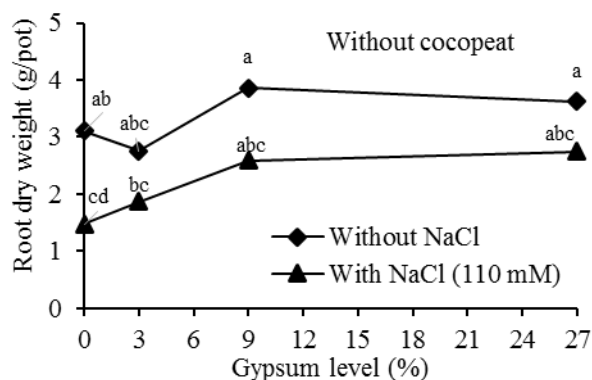
ماده خشک ریشه آن را کاهش داد. این کاهش را می‌توان به جذب سطحی یون‌های مختلف به‌وسیله گچ جامد، رابطه ناهم‌سازی میان یون‌های سولفات و کلسیم حاصل از حل شدن گچ با سایر عنصرهای غذایی و مختل شدن جذب عنصرهای غذایی مختلف نسبت داد (مارشنر ۲۰۱۲).

افزایش ماده خشک ریشه با مصرف گچ در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت می‌تواند به دلیل حل شدن گچ در شرایط شور و آزاد شدن کلسیم و سولفات و بهبود رشد گیاه باشد. در شرایط شور، با افزایش قدرت یونی، ضریب فعالیت یون‌ها کاهش می‌یابد و گچ بیش‌تر حل شده و غلظت کلسیم و سولفات زیاد می‌شود (ریچاردز ۱۹۶۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید در محلول غذایی بر ماده خشک ریشه اسفناج بسته به سطح گچ و سطح شوری متفاوت بود. در شرایط عدم مصرف کوکوپیت و گچ و در شرایط مصرف کوکوپیت و دو سطح صفر و ۳ درصد گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، ماده خشک ریشه اسفناج را کاهش داد اما در سایر شرایط آزمایش شوری بر آن اثر معنادار نداشت (شکل ۲). شوری از طریق تنش اسمزی، سمیت یونی و عدم تعادل عنصرهای غذایی سبب کاهش رشد گیاه و کاهش ماده خشک ریشه می‌شود (روی و همکاران ۲۰۰۵، مارشنر ۲۰۱۲).

می‌شود از سطح‌های کم کوکوپیت در پژوهش‌های بعدی استفاده شود یا این‌که در جاهایی که محدودیت آب وجود ندارد، قبل از استفاده شستشو شود.

### ماده خشک ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی کوکوپیت و شوری و اثر متقابل دوجانبه گچ × کوکوپیت بر ماده خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنادار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر مصرف گچ بر ماده خشک ریشه اسفناج بسته به سطح کوکوپیت، شوری و گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و مصرف کوکوپیت و در شرایط شور و در حضور کوکوپیت، مصرف گچ در سطح‌های پایین بر ماده خشک ریشه اسفناج اثر معناداری نداشت اما سطح ۲۷ درصد گچ ماده خشک ریشه را کاهش داد (شکل ۲). مشابه نتایج ما، لی و موج (۲۰۱۳) گزارش کردند که با افزایش سطح گچ مصرفی، ماده خشک ریشه گیاه ابتدا تغییر معناداری نکرد اما در سطوح بالاتر کاهش یافت. با این‌حال، تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، میان سطح گچ و ماده خشک ریشه اسفناج رابطه  $\text{Root DM} = -0.0043(\text{Gypsum})^2 - 0.1635(\text{Gypsum}) + 1.4494$ ,  $r = 0.998^{**}$  وجود داشت که نشان می‌دهد مصرف گچ ماده خشک ریشه گیاه را به‌طور معنادار کاهش داد. مشابه نتایج ما، شیخی شهریور و خادمی (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که افزایش سطح گچ در کشت هیدروپونیک گیاه یونجه،



شکل ۲- اثر متقابل شوری و گچ بر ماده خشک ریشه در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت

مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده‌است.

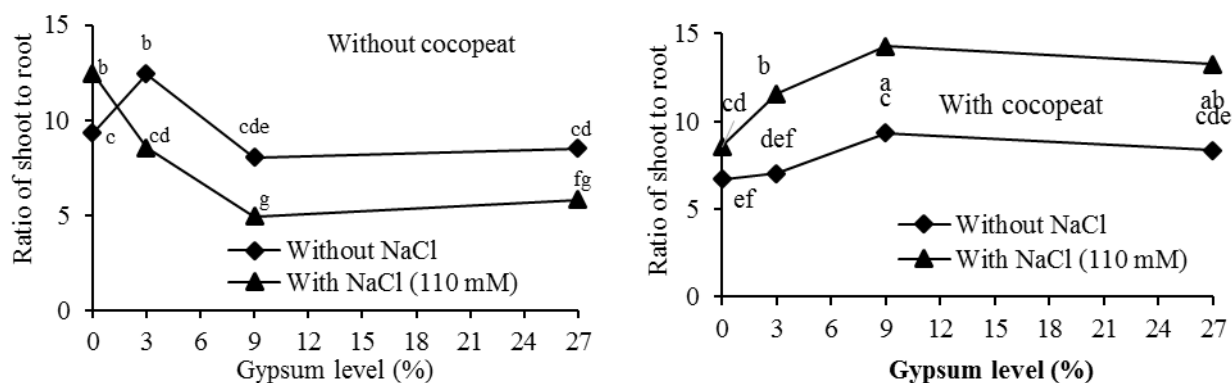
گچ با کاهش اثر تنش شوری، رشد ریشه‌ها را بیش‌تر از شاخساره افزایش می‌دهد. در شرایط شور و در حضور کوکوپیت، افزایش گچ نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را افزایش داد. نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج در شرایط غیرشور و مصرف کوکوپیت، با مصرف سه درصد گچ، تغییر معناداری نکرد و با مصرف ۹ و ۲۷ درصد گچ، نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳). مشابه نتایج ما، افزایش نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه با مصرف گچ در کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی در شرایط شوری سدیم کلرید به‌وسیله خیاط و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده‌است. مصرف گچ هم ماده خشک شاخساره و هم ماده خشک ریشه را کاهش داد اما این کاهش در مورد ماده خشک ریشه بیشتر بود. در نتیجه، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه افزایش یافت.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج بسته به سطح گچ و کوکوپیت متفاوت بود. در شرایط عدم مصرف کوکوپیت و سطح صفر گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، در شرایط مصرف کوکوپیت و مصرف گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۳). این افزایش را می‌توان چنین توجیه کرد که بر اثر شوری، هم رشد ریشه و هم رشد شاخساره کاهش یافت اما این کاهش در ریشه بیش‌تر از شاخساره بود (شکل‌های ۱ و ۲). در نتیجه، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه افزایش یافت. در شرایط عدم مصرف کوکوپیت و سطح‌های ۳، ۹ و ۲۷ درصد گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳) که نشانگر حساسیت بیش‌تر ریشه به شوری نسبت به شاخساره اسفناج در این شرایط بود و با نتایج نحفی و سرهنگزاده (۲۰۱۲) در ذرت، کاپور و پاندا (۲۰۱۵) در شنبليله و ونیر و همکاران (۲۰۱۸) در انگور مطابقت داشت.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر کوکوپیت بر ماده خشک ریشه اسفناج بسته به سطح گچ و سطح شوری متفاوت بود. در شرایط شور و غیرشور و دو سطح ۹ و ۲۷ درصد گچ، مصرف کوکوپیت ماده خشک ریشه اسفناج را کاهش داد (شکل ۲). کوکوپیت علاوه بر عنصرهای غذایی مورد نیاز گیاه سدیم نیز دارد (جدول ۱). ممکن است این سدیم به همراه سدیم حاصل از نمک سدیم کلرید مصرفی، با پتاسیم و منیزیم در انتقال به درون یاخته از طریق کانال‌ها یا ناقل‌های پروتئینی رقابت داشته و باعث کمبود پتاسیم و منیزیم در داخل یاخته و کاهش رشد گیاه شود (هساگاوا و همکاران ۲۰۰۰). محمدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که بین دو بستر کشت هیدروپونیک کوکوپیت و پرلیت + کوکوپیت از نظر ماده خشک ریشه گیاه عروسک پشت‌پرده در شرایط بدون ورمی‌کمپوست تفاوت معنادار وجود نداشت.

#### نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه

محاسبه نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مختلف بر رشد ریشه و شاخساره گیاهان یکسان است یا خیر. تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی کوکوپیت و شوری و اثرهای متقابل دوجانبه گچ × کوکوپیت و کوکوپیت × شوری و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه بر نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج در سطح احتمال پنج درصد معنادار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر مصرف گچ بر نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج بسته به سطح کوکوپیت، شوری و گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و عدم مصرف کوکوپیت، با مصرف سه درصد گچ، نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج نسبت به شاهد افزایش یافت که نشانگر افزایش رشد شاخساره نسبت به ریشه در حضور گچ (آزادسازی یون‌های کلسیم و سولفات) است. با این حال، مصرف ۹ و ۲۷ درصد گچ بر آن اثر معنادار نداشت. در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، افزایش گچ نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را نسبت به شاهد کاهش داد. این کاهش نشان می‌دهد که مصرف



شکل ۳- اثر متقابل شوری و گچ بر نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده‌است.

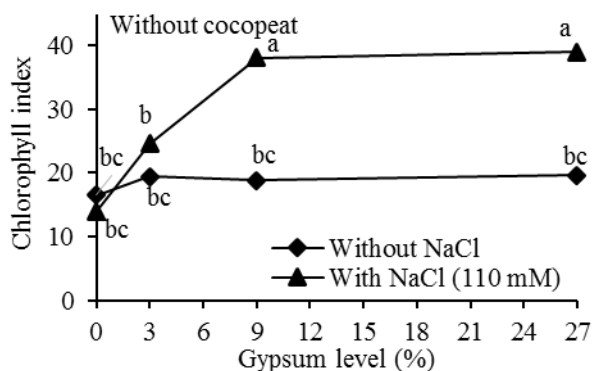
خشک آن‌ها مشکل است، با استفاده از این رابطه می‌توان با تعیین ماده خشک شاخساره، ماده خشک ریشه را در شرایط مشابه این پژوهش برآورد کرد. ماده خشک شاخساره اسفناج حدود ۱۰ برابر ماده خشک ریشه بود.

#### شاخص کلروفیل برگ‌ها

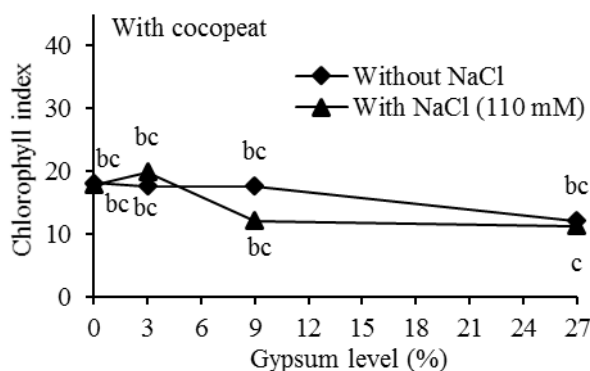
تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی گچ، شوری و کوکوپیت و اثرهای متقابل دوجانبه گچ × کوکوپیت و کوکوپیت × شوری و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه بر شاخص کلروفیل برگ‌های اسفناج در سطح احتمال پنج درصد معنادار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر گچ بر شاخص کلروفیل برگ اسفناج بسته به سطح کوکوپیت، شوری و گچ متفاوت بود. در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، مصرف سه درصد گچ بر شاخص کلروفیل برگ اثر معنادار نداشت اما کاربرد ۹ و ۲۷ درصد گچ آن را افزایش داد (شکل ۴). این افزایش را می‌توان به کاهش رشد گیاه در حضور سطح بالای گچ و وقوع اثر تغلیظ نسبت داد (مارشمن ۲۰۱۲). تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که در شرایط غیرشور و مصرف کوکوپیت، میان سطح گچ و شاخص کلروفیل برگ اسفناج رابطه  $\text{Chlorophyll} = -0.0088(\text{Gypsum})^2 + 0.021(\text{Gypsum}) + 17.971$ ,  $r = 0.997^{**}$  وجود داشت که نشان می‌دهد که در شرایط مذکور

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر کوکوپیت بر نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج بسته به سطح گچ و شوری متفاوت بود. در شرایط غیرشور و دو سطح صفر و ۳ درصد گچ و در شرایط شور و بدون گچ، مصرف کوکوپیت نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را نسبت به شاهد کاهش داد. در شرایط شور و سطح‌های ۳، ۹ و ۲۷ درصد گچ، مصرف کوکوپیت نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه اسفناج را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۳) که ممکن است به افزایش شوری در حضور کوکوپیت و کاهش بیشتر ماده خشک ریشه نسبت به شاخساره مربوط باشد. در شرایط غیرشور و شور و عدم مصرف گچ، مصرف کوکوپیت این نسبت را کاهش داد که به دلیل کاهش بیشتر ماده خشک شاخساره نسبت به ریشه در این شرایط شور و مصرف گچ، مصرف کوکوپیت این نسبت را افزایش داد که به دلیل کاهش بیشتر رشد ریشه نسبت به شاخساره بود (شکل‌های ۱ و ۲). محمدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که نسبت ماده خشک شاخساره به ریشه گیاه عروسک پشت‌پرده در شرایط بدون ورمی‌کمپوست، در بستر کشت پرلیت + کوکوپیت بیشتر از کوکوپیت بود. در شرایط آزمایش، میان ماده خشک ریشه و شاخساره رابطه  $\text{Root DM} = -0.1146(\text{Shoot DM}) + 0.0414$ ,  $r = 0.82^{**}$  وجود داشت. چون جداسازی ریشه‌ها و تعیین ماده

مذکور مصرف گچ شاخص کلروفیل برگ گیاه را به طور معنادار افزایش داد که ممکن است ناشی از کاهش ماده خشک گیاه و وقوع پدیده اثر تغلیظ باشد (شکل ۱، مارشزر ۲۰۱۲). در سایر شرایط آزمایش، مصرف گچ بر شاخص کلروفیل برگ اثر معنادار نداشت (شکل ۴).



مصرف گچ شاخص کلروفیل برگ گیاه را به طور معنادار کاهش داد. همچنین، در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، میان سطح گچ و شاخص کلروفیل رابطه  $Chlorophyll = -0.0976(Gypsum)^2 + 3.5502(Gypsum) + 14.276$ ،  $r=0.9995^{**}$  وجود داشت که نشان می‌دهد که در شرایط



شکل ۴- اثر متقابل شوری و گچ بر شاخص کلروفیل برگ در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده‌است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر کوکوپیت بر شاخص کلروفیل برگ اسفناج بسته به سطح گچ و سطح شوری متفاوت بود. در شرایط شور و دو سطح ۹ و ۲۷ درصد گچ، مصرف کوکوپیت شاخص کلروفیل برگ اسفناج را افزایش داد اما در سایر شرایط آزمایش، مصرف کوکوپیت بر شاخص کلروفیل برگ اسفناج اثر معنادار نداشت (شکل ۴). مشابه نتایج ما، افزایش شاخص کلروفیل برگ با مصرف کوکوپیت، در کشت هیدروپونیک گیاه ژربرا به وسیله منظری‌توکی و همکاران (۲۰۱۴) و در کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی به وسیله ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده‌است. در مورد این افزایش می‌توان گفت که کوکوپیت به عنوان یک ماده آلی می‌تواند بخشی از نیاز گیاه به عنصرهای غذایی مانند نیتروژن را تأمین کند. با این حال، محمدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مصرف کوکوپیت در بستر پرلیت، شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه عروسک پشت‌پرده را به طور معناداری کاهش داد.

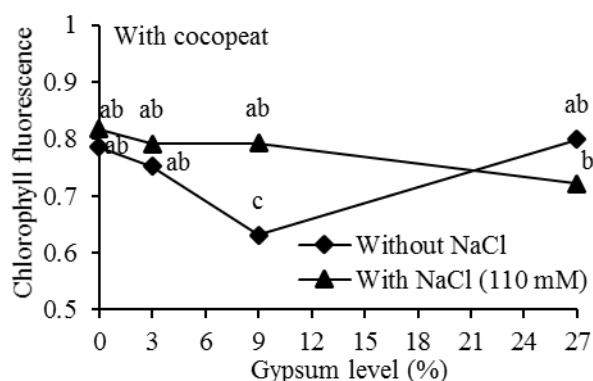
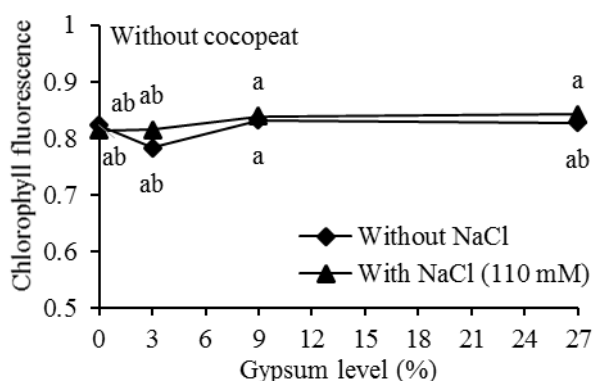
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر شاخص کلروفیل برگ اسفناج بسته به سطح گچ و کوکوپیت متفاوت بود. در شرایط عدم مصرف کوکوپیت و دو سطح ۹ و ۲۷ درصد گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، شاخص کلروفیل برگ اسفناج را افزایش داد. در سایر شرایط آزمایش، شوری بر شاخص کلروفیل برگ اسفناج اثر معناداری نداشت (شکل ۴). افزایش شاخص کلروفیل برگ با اعمال شوری می‌تواند مربوط به اثر تغلیظ ناشی از کاهش ماده خشک گیاه در شرایط شور باشد (مارشزر ۲۰۱۲). همچنین، تغییر ابعاد یاخته بر اثر تنش شوری، با کاهش بیش‌تری در سطح برگ همراه است و سبب کوچک‌تر و ضخیم‌تر شدن برگ‌ها شده و این تغییرات آناتومیکی، موجب افزایش تراکم کلروپلاست در واحد سطح برگ و افزایش غلظت کلروفیل می‌شود (مانس ۲۰۰۲). سعادت و معلمی (۲۰۱۲) گزارش کردند که شوری سدیم کلرید (۱۵ تا ۴۰ میلی‌مولار) در کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی، شاخص کلروفیل برگ‌های آن را کاهش داد.

0.0023(Gypsum)+0.8101,  $r = 0.9994^{**}$  وجود داشت که نشان می‌دهد مصرف گچ فلورسانس کلروفیل برگ گیاه را به‌طور معنادار کاهش داد. سایر شرایط آزمایش بر فلورسانس کلروفیل اثر معنادار نداشت (شکل ۵). افزودن گچ به خاک یا بستر رشد گیاه به‌دلیل افزایش غلظت نمک‌ها در خاک و عدم تعادل یونی سبب کاهش پتانسیل آب این ناحیه شده و به‌دنبال آن جذب آب به‌وسیله گیاه کم و در نهایت رشد گیاه به‌دلیل کاهش تعداد برگ و سطح برگ کم می‌شود (مانس ۲۰۰۲). با کاهش تعداد برگ و سطح برگ، فلورسانس کلروفیل نیز کاهش می‌یابد.

### فلورسانس کلروفیل برگ

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کوکوپیت بر فلورسانس کلروفیل برگ اسفناج در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر گچ بر فلورسانس کلروفیل برگ بسته به سطح کوکوپیت، سطح شوری و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و مصرف کوکوپیت، مصرف ۹ درصد گچ، فلورسانس کلروفیل برگ اسفناج را کاهش داد و در دو سطح ۳ و ۲۷ درصد تغییر معناداری ایجاد نکرد. با این حال، تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که در شرایط شور و در حضور کوکوپیت، میان سطح‌های گچ و فلورسانس کلروفیل برگ اسفناج رابطه

$$\text{Fluorescence} = 4E-5(\text{Gypsum})^2 +$$



شکل ۵- اثر متقابل شوری و گچ بر فلورسانس کلروفیل برگ در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده‌است.

رسیده افزایش یابد (ممنوعی و شریفی ۲۰۱۰). افزایش فلورسانس کلروفیل برگ پس از اعمال شوری، در کشت هیدروپونیک گیاه گلرنگ به‌وسیله جوادپور و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده‌است. کاهش فلورسانس کلروفیل برگ پس از اعمال شوری، در کشت هیدروپونیک یولاف به‌وسیله ژائو و همکاران (۲۰۰۷)، در کشت هیدروپونیک برنج به‌وسیله یامانه و همکاران (۲۰۰۸) و در کشت هیدروپونیک کاسنی به‌وسیله کلاوس و تزورتزاکیس (۲۰۱۴) گزارش شده‌است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر کاربرد کوکوپیت بر فلورسانس کلروفیل برگ اسفناج بسته به سطح گچ و سطح شوری متفاوت بود. در شرایط غیرشور و سطح ۹ درصد گچ و در شرایط شور و

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر فلورسانس کلروفیل برگ اسفناج بسته به سطح کوکوپیت و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط مصرف کوکوپیت و سطح ۹ درصد گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید فلورسانس کلروفیل برگ را افزایش داد اما در سایر شرایط آزمایش، شوری بر فلورسانس کلروفیل برگ اثر معنادار نداشت (شکل ۵). شوری از طریق مختل کردن وظایف غشاها، مختل کردن فعالیت آنزیم‌ها، تجمع آبسزیک اسید (زو و همکاران ۲۰۰۴) و تجزیه فسفولیپیدها (وانگ ۲۰۰۲) رشد گیاه را کاهش می‌دهد. با کاهش رشد گیاه، میزان فلورسانس کلروفیل برگ می‌تواند به‌دلیل تخریب غشای تیلاکوئید کلروپلاست برگ و ناتوانی در جذب نور

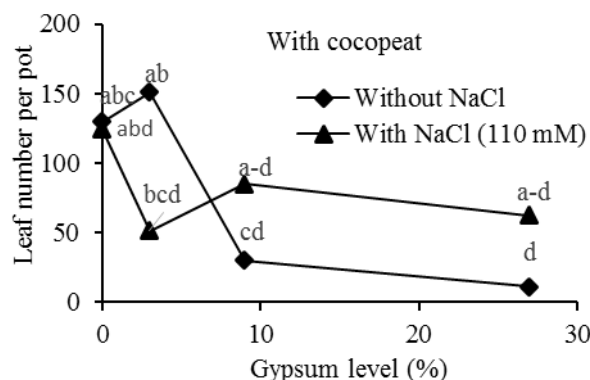
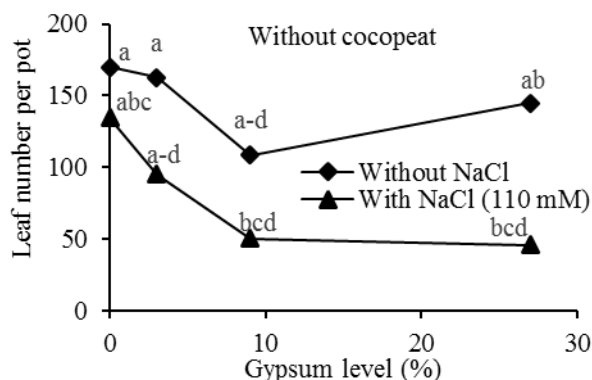
گچ ابتدا تعداد برگ در بوته را کاهش و سپس به طور معنادار افزایش داد. در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، مصرف گچ تعداد برگ در بوته را کاهش داد. در سایر شرایط آزمایش، مصرف گچ بر تعداد برگ اسفناج اثر معنادار نداشت (شکل ۶). دلایل کاهش تعداد برگ گیاه اسفناج در سطح‌های بالای گچ، در قسمت ماده خشک شاخساره ذکر شده است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر تعداد برگ اسفناج در تمام سطح‌های گچ، با و بدون مصرف کوکوپیت اثر معنادار نداشت (شکل ۶). با این حال، کاهش تعداد برگ با اعمال شوری سدیم کلرید در محلول غذایی، در گیاه توت‌فرنگی به وسیله سعادت و معلمی (۲۰۱۲)، در گیاه چاودار به وسیله کلاوس و تزورت‌زاکیس (۲۰۱۴) و در گیاه شنبلله به وسیله کاپور و پاندا (۲۰۱۵) گزارش شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر مصرف کوکوپیت بر تعداد برگ اسفناج بسته به سطح شوری و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و سطح ۲۷ درصد گچ، مصرف کوکوپیت تعداد برگ اسفناج را کاهش داد اما در سایر شرایط آزمایش مصرف کوکوپیت بر تعداد برگ اسفناج اثر معنادار نداشت (شکل ۶). مشابه نتایج ما، محمدی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش دادند که افزودن کوکوپیت به بستر پرلیت بر تعداد برگ گیاه عروسک پشت‌پرده اثر معنادار

سطح ۲۷ درصد گچ، مصرف کوکوپیت فلورسانس کلروفیل برگ را کاهش داد اما در سایر شرایط آزمایش، مصرف کوکوپیت بر فلورسانس کلروفیل برگ اثر معناداری نداشت (شکل ۵). دلایل کاهش فلورسانس کلروفیل بر اثر زیادی سدیم و شوری بستر کشت در قسمت اثر شوری بر فلورسانس کلروفیل ذکر شد.

### تعداد برگ در بوته

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی گچ، کوکوپیت و شوری و اثر متقابل دوجانبه کوکوپیت × شوری در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد برگ اسفناج معنادار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر گچ بر تعداد برگ اسفناج بسته به سطح شوری، سطح کوکوپیت و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و در حضور کوکوپیت مصرف ۳ و ۹ درصد گچ، بر تعداد برگ اسفناج اثر معنادار نداشت اما با مصرف ۲۷ درصد گچ کاهش یافت. تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که میان سطح گچ و تعداد برگ اسفناج، در شرایط غیرشور و عدم مصرف کوکوپیت، رابطه  $\text{Leaf number} = 0.3224(\text{Gypsum})^2 + 9.9284(\text{Gypsum}) + 177.16$  و  $r = 0.955^*$  در شرایط شور و عدم مصرف کوکوپیت، رابطه  $\text{Leaf number} = 0.3396(\text{Gypsum})^2 + 12.368(\text{Gypsum}) + 132.62$  و  $r = 0.998^{**}$  وجود داشت. این رابطه‌ها نشان می‌دهند که در شرایط غیرشور و عدم مصرف کوکوپیت، مصرف



شکل ۶- اثر متقابل شوری و گچ بر تعداد برگ در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده است.

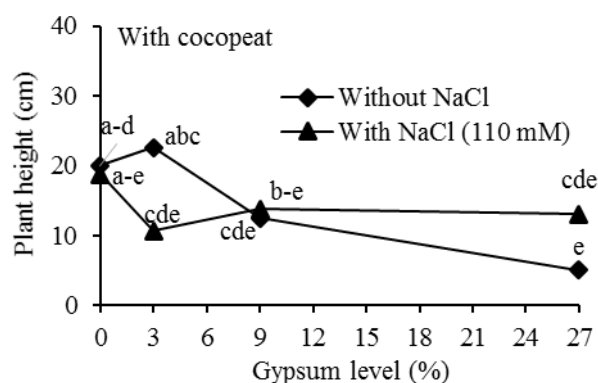
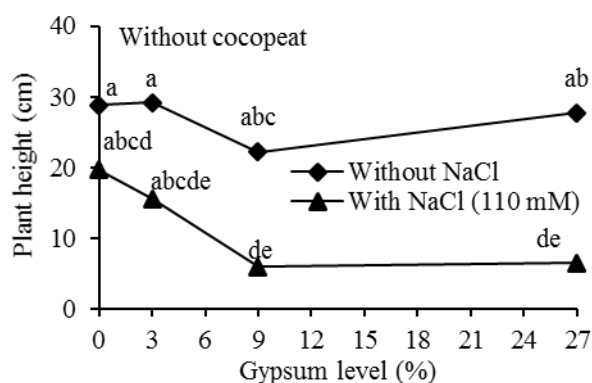
آب و کاهش جذب آب به وسیله ریشه گیاهان می‌شود. همچنین، تبلور و رسوب گچ دور ریشه‌ها سبب جذب سطحی عنصرهای غذایی به وسیله آن و جلوگیری از جذب عنصرها به وسیله ریشه‌ها می‌شود (ماشالی ۱۹۹۶). در نتیجه، کاهش جذب عنصرهای غذایی به وسیله گیاه سبب کاهش رشد گیاه و ارتفاع گیاه می‌شود.

در شرایط عدم مصرف کوکوپیت و دو سطح ۹ و ۲۷ درصد گچ، شوری ۱۱۰ میلی‌مولار سدیم کلرید ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد کاهش داد اما در سایر شرایط، اثر شوری بر ارتفاع گیاه معنادار نبود (شکل ۷). کاهش ارتفاع گیاه در شرایط شور را می‌توان به کاهش تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و جیبرلین (یانگ و همکاران ۲۰۱۴، دو و همکاران ۲۰۱۳)، کاهش جذب پتاسیم به دلیل رابطه ناهم‌سازی آن با سدیم و مختل شدن فعالیت آنزیم‌ها مربوط دانست (مارشدر ۲۰۱۲). کاهش ارتفاع گیاه پس از اعمال شوری در محلول غذایی، در گیاه کلزا به وسیله حسن‌پورا قدم و همکاران (۲۰۰۹)، در گیاه بادمجان به وسیله مهجور و همکاران (۲۰۱۶) و در گیاه بنفشه به وسیله چریسار کریس و زایلیا (۲۰۲۱) نیز مشاهده شده است. مصرف کوکوپیت در شرایط شور باعث شورشیدن بیش‌تر بستر کشت گیاه و ایجاد تنش اسمزی و کاهش

نداشت. کاهش تعداد برگ اسفناج در حضور کوکوپیت را می‌توان به ظرفیت نگهداری آب زیاد کوکوپیت نسبت داد که در صورت استفاده زیاد از آب در بستر کشت، تهویه کاهش یافته و سبب کاهش تنفس ریشه و به دنبال آن کاهش جذب فعال عنصرهای غذایی و کاهش رشد گیاه و کاهش تعداد برگ آن می‌شود (مارشدر ۲۰۱۲).

### ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی گچ، کوکوپیت و شوری و اثر متقابل دوجانبه کوکوپیت × شوری بر ارتفاع گیاه اسفناج در سطح احتمال پنج درصد معنادار بودند (جدول ۴). اثر گچ بر ارتفاع گیاه اسفناج بسته به سطح شوری، سطح کوکوپیت و سطح گچ متفاوت بود. در شرایط غیرشور و مصرف کوکوپیت، مصرف ۳ و ۹ درصد گچ بر ارتفاع گیاه اسفناج اثر معنادار نداشت اما با مصرف ۲۷ درصد گچ، ارتفاع گیاه اسفناج کاهش یافت. تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که در شرایط شور و در حضور کوکوپیت، میان سطح گچ و ارتفاع گیاه اسفناج رابطه  $Height=0.0574(Gypsum)^2-2.059(Gypsum)+20.206$ ،  $r=0.9941^{**}$  وجود داشت که نشان می‌دهد مصرف گچ ارتفاع گیاه را به طور معنادار کاهش داد. در سایر شرایط آزمایش مصرف گچ بر ارتفاع گیاه اثر معنادار نداشت (شکل ۷). حل شدن گچ موجب کاهش پتانسیل



شکل ۷- اثر متقابل شوری و گچ بر ارتفاع گیاه در شرایط با و بدون مصرف کوکوپیت مقایسه میانگین‌ها برای داده‌های دو شکل با آزمون دانکن هم‌زمان انجام شده است.

یاخته‌ها به ویژه در ساقه‌ها و برگ‌ها شده و سبب کوچکی اندازه گیاه می‌شود (مارشدر ۲۰۱۲). با این حال،

جذب آب به وسیله گیاه می‌شود. کمبود آب در گیاه باعث از دست رفتن فشار تورمی و کاهش نمو

استفاده کرد. همچنین، برخلاف فرض اولیه پژوهش حاضر، استفاده از گچ و کوکوپیت تحمل گیاه اسفناج به تنش شوری را افزایش نداد که ممکن است ناشی از افزایش شوری در حضور کوکوپیت و گچ و یا استفاده از غلظت استاندارد کلسیم و سولفات در محلول غذایی باشد. نتایج این بررسی نشان داد که حضور درصد زیاد گچ در بستر کشت گیاهان اسفناج از جمله در خاک‌های گچی می‌تواند رشد آن‌ها را کاهش دهد. همچنین، باتوجه به این‌که اثر هر یک از سه عامل گچ، کوکوپیت و شوری بر ویژگی‌های مورد مطالعه به سطوح دو عامل دیگر بستگی داشت، انجام پژوهش‌های بیشتر با سطوح کمتر گچ و کوکوپیت، غلظت‌های کمتر کلسیم و سولفات در محلول غذایی و استفاده از کوکوپیت‌های دیگر پیشنهاد می‌شود.

#### سپاسگزاری

این مقاله قسمتی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است که با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز انجام شده است. بدینوسیله از حمایت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز تشکر می‌شود.

در پژوهش حاضر، اثر مصرف کوکوپیت بر ارتفاع گیاه اسفناج در تمامی سطح‌های گچ و شرایط شور و غیرشور معنادار نبود (شکل ۷) که با نتایج محمدی و همکاران (۲۰۱۵) در کشت هیدروپونیک گیاه عروسک پشت‌پرده مطابقت داشت.

#### نتیجه‌گیری کلی

در تیمارهای دارای کوکوپیت، سطح گچ با ماده خشک ریشه و شاخساره، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، شاخص کلروفیل برگ‌ها و فلورسانس کلروفیل برگ‌ها رابطه‌های رگرسیونی چندجمله‌ای درجه دو داشت. باتوجه به این رابطه‌ها، سطوح بالای گچ باعث کاهش ویژگی‌های مذکور شد. این کاهش در شرایط غیرشور را می‌توان به زیادی یون‌های سولفات و کلسیم و رابطه ناهم‌سازی آن‌ها با جذب سایر عنصرهای غذایی، جذب سطحی عنصرهای غذایی مختلف به وسیله کانی گچ و مختل شدن تغذیه گیاه نسبت داد. حساسیت ریشه گیاه اسفناج به تنش شوری سدیم کلرید بیشتر از شاخساره بود. استفاده از کوکوپیت سری لانکا در بستر پرلیت، برای کشت هیدروپونیک گیاه اسفناج توصیه نشد. در جاهایی که آب فراوان و با کیفیت مناسب وجود دارد، شاید بتوان بعد از شستشوی آن در بستر پرلیت

#### منابع مورد استفاده

- Abad M, Noguera P, Puchades R, Maquieira A and Noguera V. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3): 241–245.
- Awada S, Campbell WF, Dudley LM, Jurinak JJ and Khan MA. 1995. Interactive effects of sodium chloride, sodium sulfate, calcium sulfate, and calcium chloride on snap bean growth, photosynthesis, and ion uptake. *Journal of Plant Nutrition*, 18(5): 889–900.
- Awang Y, Shaharom AS, Mohamad RB and Selamat A. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(1): 63–71.
- Bolat I, Kaya C, Almaca A and Timucin S. 2006. Calcium sulfate improves salinity tolerance in rootstocks of plum. *Journal of Plant Nutrition*, 29(3): 553–564.
- Bongi G and Loreto F. 1989. Gas exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europea* L.) leaves. *Journal of Plant Physiology*, 90: 1408–1416.
- Chaney RL. 1993. Zinc phytotoxicity. Pp 135–150. In: Robson AD (Ed.) *Zinc in Soils and Plants*. Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 55, Springer, Dordrecht.



- Choudhary OP, Josan AS, Bajwa MS and Kapur ML. 2004. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions. *Field Crops Research Journal*, 87(2-3): 103–106.
- Chrysargyris A and Xylia P. 2021. Effect of the nutrient solution electrical conductivity (EC) on the growth, development and nutrient content of *Viola tricolor* var. *Hortensis* grown in perlite. *Acta Horticulturae*, 1321: 149–156.
- Du H, Liu H and Xiong L. 2013. Endogenous auxin and jasmonic acid levels are differentially modulated by abiotic stresses in rice. *Frontiers in Plant Science*, 4(397): 1–10.
- Ebrahimi R, Ebrahimi F and Ahmadizadeh M. 2012. Effect of different substrates on herbaceous pigments and chlorophyll amount of strawberry in hydroponic cultivation system. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 12(2): 154–158.
- Erfani F, Hassandokht MR, Barzegar M and Jabbari A. 2006. Determination and comparison of chemical properties of seven Iranian spinach cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 3(2): 27–34.
- Ferreira JFS, Sandhu D, Liu X and Halvorson JJ. 2018. Spinach (*Spinacea oleracea* L.) response to salinity: Nutritional value, physiological parameters, antioxidant capacity, and gene expression. *Agriculture*, 8(10):163.
- Gabriels R, Keirsblulk WV and Engels H. 1993. A rapid method for the determination of physical properties of growing media. *Acta Horticulturae*, 342: 243–247.
- Grattan SR and Grieve CM. 1992. Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 38(4): 275–300.
- Gupta PK. 2016. *Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis*. Second Edition, Agrobios, India.
- Hasegawa PM, Bressan RA, Zhu JK and Bohnert HJ. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 436–499.
- Hassanpouraghdam MB, Pardaz JE and Akhtar NF. 2009. The effect of osmo-priming on germination and seedling growth of *Brassica napus* L. under salinity conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(2): 620–622.
- Hoagland DR and Arnon DI. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular 347, University of California, Berkeley, California, USA.
- Hu Y and Schmidhalter U. 1997. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. 2. Composition. *Journal of Plant Nutrition*, 20:1169–1182.
- Javadipour Z, Movahhedi Dehnavi M and Balouchi HR. 2013. Comparison of photosynthesis parameters and leaf chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline conditions. *Journal of Crop Production*, 6(2): 35–56.
- Jimenez MS, Gonzalez-Rodriquez AM, Moralez D, Cid MC, Socorro AR and Cabollero M. 1997. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. *Photosynthetica*, 33: 291–301.
- Kapoor N and Pande V. 2015. Effect of salt stress on growth parameters, moisture content, relative water content, and photosynthetic pigments of fenugreek variety RMT-1. *Journal of Plant Sciences*, 10(6): 210–221.
- Khayyat M, Rajae S, Eshghi S and Tafazoli E. 2009. Calcium effects on changes in chlorophyll contents, dry weight and micronutrients of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) plants under salt-stress conditions. *Fruits*, 64(1): 53–59.
- Klados E and Tzortzakis N. 2014. Effects of substrate and salinity in hydroponically grown *Cichorium spinosum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(1): 211–222.

- Lee J, and Mudge KW. 2013. Gypsum effects on plant growth, nutrients, ginsenosides, and their relationship in American ginseng. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54: 228–235.
- Liu J, Zhang W, Long S, Zhao C. 2021. Maintenance of cell wall integrity under high salinity. *International Journal of Molecular Sciences* 22(6):3260.
- Mahjoor F, Ghaemi AA and Golabi MH. 2016. Interaction effects of water salinity and hydroponic growth medium on eggplant yield, water-use efficiency, and evapotranspiration. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 99–107.
- Mamnoei E and Sharifi SR. 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Journal of Plant Biology*, 2(5): 51–62.
- Manzari Tavakkoli M, Roosta HR and Hamidpour M. 2014. Identification of the suitable growth media for alleviating the adverse effect of sodium bicarbonate on gerbera in soilless culture system. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 5: 39–52.
- Marschner H. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third edition, Academic Press, London.
- Mashali AM. 1996. Soil management practice for gypsiferous soils. Pp: 34–52. In: Poch RM (Ed.) *Proceedings of the International Symposium on Soils with Gypsum*. 15–21 September 1996, Catalonia, Spain.
- Mass ED and Hoffman GJ. 1977. Crop salt tolerance current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 103: 115–134.
- Mayak S, Tirosh T and Glick BR. 2004. Plant growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42: 565–572.
- Mishra SK, Subrahmanyam D and Singhal JS. 1991. Interrelationship between salt and light stress on primary processes of photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, 138: 92–96.
- Misra AN, Srivastava A and Strasser RJ. 2001. Utilization of fast chlorophyll fluorescence technique in assessing the salt ion sensitivity of mung bean and *Brassica* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 158: 1173–1181.
- Mohammadi H, Tabrizi L and Salehi R. 2015. Effect of different ratio of vermicompost in culture media on seedling growth of gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(4): 383–390.
- Moura J.C., Bonine C.A., de Oliveira F.V.J., Dornelas M.C., Mazzafera P. 2010. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52:360–376.
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25: 239–250.
- Najafi N and Sarhangzadeh E. 2012. Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(10):1–15.
- Najafi N, Parsazadeh M, Tabatabaei SJ and Oustan S. 2010a. Effect of nitrogen form and pH of nutrient solution on the uptake of Fe, Zn, Cu, and Mn by spinach plant in hydroponic culture. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 41(2): 283–295. (In Persian)
- Najafi N, Parsazadeh M, Tabatabaei SJ and Oustan S. 2010b. Effect of nitrogen form and pH of nutrient solution on the uptake and concentration of potassium, calcium, magnesium and sodium in root and shoot of spinach plant. *Water and Soil Science-University of Tabriz*, 20(2): 111–130. (In Persian)
- Parra M, Abrisqueta I, Hortelano D, Alarcon JJ, Intrigliolo DS and Rubio-Asensio JS. 2022. Open field soilless system using cocopeat substrate bags improves tree performance in a young Mediterranean persimmon orchard. *Scientia Horticulturae*, 291: 110614.

- Peters J. 2003. Recommended Methods of Manure Analysis. Cooperative Extension publishing, University of Wisconsin, USA.
- Rahimi A and Biglarifard A. 2011. Influence of NaCl salinity and different substrates on plant growth, mineral nutrient assimilation and fruit yield of strawberry. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(2): 219–226.
- Rezaee A, Mobli M, Etemadi N, Baninasab B and Khoshgoftarmanesh AH. 2013. Effect of different growing substrates on the yield and cut flower quality of rose cv. Maroussia. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 4(1):105–114
- Richards LA, 1969. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook No 60. USDA. USA.
- Roosta HR, Bagheri V and Kian H. 2017. Effect of different planting substrates on vegetative and physiologic characteristics and nutrients content of rose (*Rosa hybrida* var. Grandgala) in hydroponic system. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 7(4):27–40.
- Roy P, Niyogi K, SenGupta DN and Ghosh B. 2005. Spermidine treatment to rice seedlings recovers salinity stress-induced damage of plasma membrane and PM-bound H-ATPase in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars. *Plant Science*, 168: 583–591.
- Saadati S and Moallemi N. 2012. A study of the effect of zinc foliar application on growth and yield of strawberry plant under saline conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(3): 267–275.
- Shannon MC. 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, 60: 75–120.
- Sheikhi Shahrivar F and Khademi H. 2018. Effect of gypsum on potassium and iron release from phlogopite to alfalfa. *Journal of Plant Nutrition*, 41(4): 509–519.
- Shin YK, Bhandari SR and Lee JG. 2021. Monitoring of salinity, temperature, and drought stress in grafted watermelon seedlings using chlorophyll fluorescence. *Frontiers in Plant Science*, 12: 1–17.
- Tuna AL, Kaya C, Ashraf M, Altunlu H, Yokas I and Yagmur B. 2007. The effect of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2):173–178.
- Uusitalo R, Ylivainio K, Hyväluoma J, Rasa K, Kaseva J, Nylund P and Turtola E. 2012. The effects of gypsum on the transfer of phosphorus and other nutrients through clay soil monoliths. *Agricultural and Food Science*, 21(3): 260–278.
- Venier M, Agüero CB, Bermejillo A, Filippini MF, Hanana M, Walker MA and Dandekar AM. 2018. Analysis of salinity tolerance of *Vitis vinifera* 'Thompson Seedless' transformed with AtNHX1. *Journal of Grapevine Research*, 57(4): 143–150.
- Wang Q, Men L, Gao L and Tian Y. 2017. Effect of grafting and gypsum application on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth under saline water irrigation. *Agricultural Water Management*, 188: 79–90.
- Wang X. 2002. Phospholipase D in hormonal and stress signaling. *Plant Biology*, 5: 408–414.
- Waters WE, Geraldson CM and Woltz SS. 1972. The interpretation of soluble salt tests and soil analysis by different procedures. *Florida Flower Grower*, 9(4): 1–10.
- Wood CW, Reeves DW and Himelrick DG. 1993. Relationships between chlorophyll meter reading and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield. *Agronomy, Society and Environment*, 23: 1–9.
- Yamane K, Kawasaki M, Taniguchi M and Miyake H. 2008. Correlation between chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence characteristics in the leaves of rice (*Oryza sativa* L.) grown under salinity. *Plant Production Science*, 11(1): 139–145.
- Yang R, Yang T, Zhang H, Qi Y, Xing Y, Zhang N, Li R, Weeda S, Ren S, Ouyang B and Guo Y. D. 2014. Hormone profiling and transcription analysis reveal a major role of ABA in tomato salt tolerance. *Plant Physiology Plant Physiology Biochem*, 77: 23–34.

- Zhao GQ, Ma BL and Ren CZ. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science*, 47: 123–131.
- Zhao H, Liang H, Chu Y, Sun C, Wei N, Yang M and Zheng C. 2019. Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence and the antioxidant system in *Ginkgo biloba* L. seedlings. *HortScience*, 54: 2125–2133.
- Zu YQ, Schwartz C, Langlade L and Fan L. 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyper accumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China. *International Environmental*, 30: 567–57.