

بررسی تاثیر تیمار نانو کود آهن و کلات آهن در دو مرحله زیستی گیاه سالیکورنیا تحت

تنش شوری

شهرام ریاحی نیا^۱ و زهرا دانایی پور^{۲*}

^۱ ایران، دانشگاه پیام نور، گروه علوم و مهندسی کشاورزی

^۲ ایران، قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در نواحی گرم و خشک ایران است. در این نواحی عدم تعادل تغذیه‌ای بدلیل تاثیر شوری بر دسترسی مواد مغذی در خاک و کاهش جذب مواد مغذی در گیاه رخ می‌دهد. در این مطالعه شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاه در دو مرحله بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور اول شامل چهار سطح ۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار NaCl و فاکتور دوم تیمار نانو کود آهن و کلات آهن بود. نتایج نشان داد که در مرحله جوانه‌زنی با افزایش شوری، سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، ارتفاع گیاهچه، شاخص ویگور و وزن ساقه‌چه کاهش یافتند. شوری در مرحله بعد نیز موجب کاهش رشد شد بطوری‌که بیش‌ترین کاهش در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار در تعداد گره، وزن تر ریشه و وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد. اعمال تیمار نانو کود آهن و کلات آهن جوانه‌زنی را بهبود بخشیدند و شاخص‌های رشدی سالیکورنیا را نسبت به شاهد بطور قابل توجهی افزایش دادند. کاربرد نانو کود آهن در شرایط تنش، رشد ریشه را نیز افزایش داد بطوری‌که بیش‌ترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی (۰/۷۳) در تیمار نانو کود آهن در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. با مقایسه میانگین حجم ریشه و ارتفاع اندام هوایی بیش‌ترین مقدار برای نانو کود آهن (بترتیب ۰/۴۸ و ۹/۲) و کلات آهن (بترتیب ۰/۴۳ و ۸/۸) بود که تفاوت معنی‌داری برای آن‌ها مشاهده نشد، بنابراین هر دو نوع کود آهن از نظر تعدیل اثرات شوری به ویژه بصورت محلول‌پاشی در نواحی گرم و خشک می‌توانند مفید باشند.

واژه‌های کلیدی: سالیکورنیا، تنش غیرزیستی، جوانه‌زنی، رشد رویشی، نانو کود آهن.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۰۷۸۳۷۲۱۷، پست الکترونیکی: Z.danaeipour@edu.ikiu.ac.ir

مقدمه

کوددهی، جنگل‌زدایی، آلودگی‌های شیمیایی و مدیریت نامناسب آب باشد (۳۱). افزایش شوری اثر منفی روی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک مانند pH و دسترسی مواد مغذی می‌گذارد و سبب تغییر در خصوصیات گیاهان مانند فتوسنتز، مدیریت آب درون گیاه و تنوع و فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود (۱۱).

زمانی که pH خاک بر اثر تجمع نمک افزایش می‌یابد بدلیل کاهش مواد مغذی در دسترس در خاک و کاهش جذب

تنش شوری بعنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی روز به روز در حال افزایش است بطوری‌که امروزه بیش از ۷ درصد کل زمین‌های جهان شور می‌باشند (۳۰). بخش قابل توجهی از این نواحی شور متعلق به زمین‌های زراعی است که منجر به خروج تقریباً ۴۵ میلیون هکتار از سطح کشت می‌شود (۱۱). شوری می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و آب و هوایی یا در اثر فعالیت‌های انسانی مانند روش‌های نامناسب آبیاری و

آن باشد. بنابراین می‌تواند این عناصر در خاک حل شده و توسط گیاه جذب شوند و رشد و نمو گیاه را بهبود بخشند (۹). در بین مراحل رشد و نمو، جوانه‌زنی بعنوان اولین مرحله نمو گیاه، کلیدی‌ترین و حساس‌ترین مرحله در سبز شدن و استقرار گیاهچه در نظر گرفته می‌شود. در این مرحله علاوه بر بستر مناسب، نانوکود کلات آهن باعث بهبود جوانه‌زنی می‌گردد که می‌تواند سبب دستیابی به عملکرد بالا در واحد سطح شود (۱۵). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر سطوح مختلف نانوکودکلات آهن و سکوسترین آهن بر عناصر غذایی و پارامترهای رشد لوبیا نشان داد که با افزایش سطح آهن اکثر خصوصیات رشدی در مقایسه با شاهد افزایش یافت اما منجر به کاهش غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد (۲).

علاوه بر این با استفاده از کشت گونه‌های مقاوم به شوری می‌توان روند گسترش اراضی در معرض شوری را کاهش داد. در فرمانرو گیاهی هالوفیت‌ها بطور طبیعی با محیط‌های شور سازگار شده‌اند. جایی که آن‌ها از مقدار فراوان نمک در محیط رشد خود سود می‌برند. آن‌ها در بین گیاهان بسیار، دارای تحمل ذاتی به شوری می‌باشند. در میان هالوفیت‌ها، سالیکورنیا که گیاهی یکساله و متعلق به خانواده *Chenopodiaceae* است، بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد زیرا می‌تواند مستقیماً بر روی خاک با شوری زیاد جوانه زده و با آب دریا با شوری شدید آبیاری شود. این گیاه بعنوان ماده با ارزش اقتصادی برای مصارف مختلف خوراکی، دارویی، علوفه‌ای، صنعتی و همچنین سوخت-های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶، ۱۳، ۲۸). در طب سنتی برای درمان بیماری‌های روده‌ای، کلیوی و هیپاتیت کاربرد دارد و دارای خواص ضد دیابت، ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان و ضد باکتری می‌باشد. بررسی‌های فیتوشیمیایی این گیاه حضور طیف وسیعی از ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، استرول‌ها، ساپونین‌ها، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، تانن‌ها، مشتقات کلروژنیک اسید، کاردیک گلیکوزید و

مواد غذایی، عدم تعادل تغذیه‌ای رخ می‌دهد (۱۰). از طرفی نیز یون‌های فلزی از قبیل آهن که یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف و کم‌تحرک برای گیاهان به‌شمار می‌رود، به نمک‌های نامحلول در خاک تبدیل می‌شود. آهن بعنوان بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیاء در فعالیت‌های زیستی مهمی از قبیل فتوسنتز، تنفس و تثبیت ازت نقش دارد (۲۵). با توجه به این که خاک اغلب زمین‌های زراعی و باغی کشور ایران آهکی است، استفاده از کود نانو آهن، به دلیل سبک و کوچک بودن ذرات و واکنش پذیری زیاد، در محیط‌های مختلف می‌تواند بعنوان یک راه حل مناسب مطرح باشد. تغذیه برگ‌گی از طریق محلول پاشی و استفاده از کلات آهن دو روش عمومی کاربرد این عنصر به‌شمار می‌رود. اعمال تیمار پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی در افزایش غلظت آهن گیاه گندم تاثیر معنی‌داری نشان داد که احتمالاً به دلیل خاصیت نانوذرات و حلالیت بیشتر آن‌ها و یا افزایش شانس برخورد ریشه‌ها به ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید آهن معمولی می‌باشد (۱۴). همچنین کاربرد نانوکود آهن با افزایش نسبت Fe^{2+} به آهن فریک سبب افزایش سنتز کلروفیل می‌شود (۲۰). تاثیر نانوذرات آهن بر ویژگی‌های شیمیایی ریزوسفر خاک و بر روی تجمع مواد مغذی بر روی گیاه لوبیا با دو غلظت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تیمار نانو ذرات آهن سبب افزایش در محتوی فسفر کل، فسفر قابل استخراج، پتاسیم کل، پتاسیم قابل استخراج، کلسیم، منگنز کل، آهن کل و ظرفیت تبادل کاتیونی و کاهش مقدار کلر در خاک شد. این تیمار تجمع مواد مغذی در گیاهان را با مشاهده بیشترین محتوی فسفر، پتاسیم، کلسیم، منگنز و آهن در ساقه، برگ و ریشه بطور قابل توجهی افزایش داد. علاوه بر این گیاهانی که با نانوذرات آهن تیمار شده بودند تراجایی کمتری از مقدار کل آهن و منگنز به ساقه و برگ در مقایسه با گیاهان شاهد نشان دادند که ممکن است بدلیل تبدیل فرم‌های نامحلول برخی عناصر به فرم‌های محلول

نظر گرفته شده است تا واکنش تیمار کود آهن بر میزان رشد گیاه تحت تنش شوری بهتر درک شود.

مواد و روشها

این مطالعه بصورت دو آزمایش جداگانه در دو مرحله زیستی از گیاه سالیکورنیا در دانشگاه پیام نور قم در سال ۱۳۹۷ انجام شد. بذور گیاه سالیکورنیا (*Salicornia europaea*) از شرکت پاکان بذور اصفهان تهیه گردید. برای اعمال تیمارهای کودی، نانوکود آهن با غلظت ۲ گرم در لیتر و کود کلات آهن با غلظت ۵ گرم در لیتر مورد استفاده قرار گرفت. آزمایشات انجام شده شامل؛

مرحله اول: بررسی جوانه‌زنی بذرها

در این مرحله، آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. بذرها پس از شمارش با هیپوکلرید سدیم ۵٪ ضد عفونی و سپس بطور یکنواخت درون ظروف پتری دیش قرار داده شدند. بمنظور بررسی بهبود جوانه‌زنی، تیمار نانو کود آهن و کود کلات آهن محلول‌پاشی شد. همزمان برای بررسی تحمل به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی، شوری در چهار سطح (۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار) اعمال شد. پتری دیش‌ها در این مدت در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد قرار گرفتند و جوانه‌زنی هر روز شمارش و صفاتی از جمله، ارتفاع گیاه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن ریشه‌چه و وزن ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. همچنین، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و شاخص ویگور نیز محاسبه گردید (۴، ۵، ۲۴).

مرحله دوم: بررسی شاخص‌های رشدی

در این مرحله، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل شوری با چهار سطح (۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی-مولار) و کود آهن با دو سطح (نانو کود آهن و کلات آهن) بودند. بذرها پس از بوجاری بصورت مستقیم درون گلدان‌های ۲ کیلوگرمی حاوی خاک ۰-۳۰ سانتی‌متری

کارتونئید گزارش نموده است. برخی از ترکیبات آن از جمله تانگتون گمادیک اسید (*Tungtungmadic acid*)، کوئرستین ۳-O-گلوکوزید و ایزورامنتین ۳-O-گلوکوزید (*isorhamnetin 3-O-glucoside*) بعنوان متابولیت‌های با فعالیت‌های دارویی شناخته شده است. همچنین دارای ترکیبات سیرینگارسینول ۴-O-β-D-گلوکوپیرانوزید (*syringaresinol 4-O-b-D-glucopyranoside*)، ۶،۷-دی-متوکسی کرومون (*6,7-dimethoxychromone*)، ۶،۷-دی اکسی کرومون (*6,7-methylenedioxychromone*) و ۷-O-β-D-گلوکوپیرانوزیل-۶-متوکسی کرومون (*7-O-b-D--7-gluco-pyranosyl-6-methoxychromone*) نیز می‌باشد (۲۷).

کشت سالیکورنیا جهت جلوگیری از فرسایش خاک و اصلاح خاک‌های در معرض شوری حائز اهمیت می‌باشد. در پژوهشی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه سالیکورنیا را در اثر کاربرد غلظت‌های مختلف نانوذرات پتاسیم بررسی کردند. پاسخ گیاه به سطوح مختلف تغذیه برگ‌گی نانوذرات پتاسیم متفاوت بود. با تغذیه برگ‌گی نانوذرات پتاسیم میزان تجمع پتاسیم، سدیم و کلسیم نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۱۹). پیش بینی شده است که هالوفیت‌ها به دلیل توانایی خود برای بقاء در محیط‌های با شوری بالا ممکن است پاسخ‌های متفاوتی به نانوذرات بدهند (۶). مطالعات قبلی اثرات مثبت و منفی نانوذرات را روی گیاهان زراعی و دارویی مدل بررسی نموده‌اند اما، هیچ پژوهشی روی تاثیر نانوکود آهن بر روی جوانه‌زنی و بهبود رشد سالیکورنیا انجام نشده است. لذا در این پژوهش تاثیر نانوکود آهن و کلات آهن بر صفات مربوط به جوانه‌زنی در مرحله جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاه بسیار هالوفیت سالیکورنیا در مرحله رشد رویشی از جمله طول ریشه و اندام هوایی، وزن تر ریشه و اندام هوایی، و وزن خشک ریشه و اندام هوایی، حجم ریشه، تعداد گره و شاخه فرعی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه سطوح مختلف شوری از پایین‌ترین سطح شوری تا بالاتر از شوری آب دریا در

آهنی در طول دوره رشد دریافت نکرد و با آب مقطر محلول پاشی گردید.

نمونه‌برداری حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت انجام گرفت و نمونه‌های گیاهی جهت سنجش‌های مورفولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شدند. اندازه‌گیری طول ریشه و اندام هوایی برحسب سانتی‌متر و وزن تر ریشه و اندام هوایی برحسب گرم با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ سنجیده شد. برای تعیین وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نمونه‌های مورد نظر به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد قرار گرفتند. همچنین میانگین حجم ریشه نمونه‌ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد و تعداد گره و شاخه فرعی برای هر نمونه بطور جداگانه شمارش گردید. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد مطالعه

| Mn(mg/kg) | Zn(mg/kg) | Fe(mg/kg) | pH | EC (ds/m) | Soil Texture |
|-----------|-----------|-----------|-----|-----------|--------------|
| 6.3 | 2.16 | 4.33 | 7.2 | 4.12 | Sandy Loam |

احتمال ۱٪ تاثیر معنی‌دار داشت. گیاه سالیکورنیا بعنوان یک گیاه بسیار هالوفیت از دامنه شوری پایین تا شوری آب دریا قادر به جوانه‌زنی است و در سطوح مختلف شوری در این آزمایش برای تمام صفات جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

نتایج

بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کودی آهن، بر سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال ۵٪ و برای سایر صفات در سطح

جدول ۲- تجزیه واریانس کود آهن و سطوح شوری در مرحله جوانه‌زنی سالیکورنیا

| منابع تغییرات | درجه آزادی | درصد جوانه زنی | سرعت جوانه زنی | میانگین جوانه زنی روزانه | میانگین طول ساقه چه (cm) | میانگین طول ریشه چه (cm) | میانگین طول گیاهچه (cm) | شاخص ویگور | وزن ساقه‌چه | وزن ریشه‌چه |
|---------------|------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|-------------|-------------|
| کود آهن | ۲ | ۱۹/۴۴* | ۱/۱۵۶* | ۰/۳۰* | ۰/۳۵۶** | ۰/۰۱۴** | ۰/۵۱** | ۶۱۳۹/۴** | ۰/۰۰۰۳۴** | ۰/۰۰۰۰۸** |
| خطای آزمایش | ۶ | ۲/۷۸ | ۰/۱۹۲ | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۲۲ | ۵۸/۲ | ۰/۰۰۰۰۱۲۴ | ۰/۰۰۰۰۰۳۲ |
| شوری | ۳ | ۲۳۶/۱۱** | ۳۶/۴۰۳** | ۳/۶۹** | ۰/۵۴** | ۰/۰۲۹** | ۰/۸۱۷** | ۹۱۱۸/۲** | ۰/۰۰۰۱۱** | ۰/۰۰۰۲۹** |
| خطای آزمایش | ۸ | ۱۰/۴۲ | ۰/۷۸۵ | ۰/۱۶۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۰۳۷ | ۰/۰۰۴۱ | ۷۲/۸ | ۰/۰۰۰۰۰۴۹ | ۰/۰۰۰۰۰۱۲ |

ns غیرمعنی‌دار، * و ** بترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

آنالیز مقایسه میانگین اثر سطوح شوری نشان داد که برای تمام صفات جوانه‌زنی تا شوری ۲۰۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما با افزایش سطح شوری در ۴۰۰ میلی‌مولار برای تمام صفات کاهش معنی‌داری مشاهده شد و این روند کاهشی در سطح ۶۰۰ میلی‌مولار برای مقادیر میانگین طول ساقه‌چه (۹/۵۸)، طول ریشه‌چه (۰/۱۵)، ارتفاع گیاهچه (۰/۸۳)، شاخص ویگور (۶۶/۳۳) و وزن ساقه‌چه (۰/۲۲) به اوج خود رسید (جدول ۳). کاهش رشد ممکن است یکی از مکانیسم‌های بقاء گیاه در برابر تنش شوری یا بدلیل آهسته شدن جذب آب توسط ریشه‌ها در غلظت بالای شوری باشد.

در بررسی مقایسه میانگین اثر کود آهن، بیشترین مقادیر وزن ریشه‌چه و وزن ساقه‌چه بترتیب ۰/۰۳۶ و ۰/۰۵۶ مربوط به تیمار کلات آهن بود. همچنین در تیمار کلات آهن تمام بذور جوانه زدند (۱۰۰ درصد) و سه خصوصیت جوانه‌زنی نظیر سرعت جوانه‌زنی (۱۵/۴)، میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۲/۵) و شاخص ویگور (۲۷۴/۷) بیشترین مقادیر را نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین میانگین طول ریشه‌چه در نانوکود آهن و کلات آهن بترتیب ۰/۴۸ و ۰/۵۰ و کمترین مقدار در شاهد بدست آمد. بیشترین مقدار ارتفاع گیاهچه نیز در هر دو تیمار نانوکود آهن و کلات آهن بترتیب ۲/۶۳ و ۲/۷۵ بود که نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین این دو کود در این صفت وجود ندارد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر شوری و تیمار کود آهن در مرحله جوانه زنی سالیکورنیا

| تیمارها | درصد جوانه زنی | سرعت جوانه زنی | میانگین جوانه زنی روزانه | میانگین طول ساقه چه (cm) | میانگین طول ریشه چه (cm) | میانگین طول گیاهچه (cm) | شاخص ویگور | وزن ساقه‌چه | وزن ریشه‌چه |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| شاهد | ۹۵ ^b | ۱۴/۲ ^b | ۱۱/۹ ^b | ۱/۶ ^b | ۰/۳۸ ^b | ۱/۹۸ ^b | ۱۸۸/۱ ^c | ۰/۰۳۶ ^b | ۰/۰۲۶ ^b |
| آهن نانو | ۹۶/۶۷ ^{ab} | ۱۵/۱ ^{ab} | ۱۲/۱ ^{ab} | ۲/۱۴ ^a | ۰/۴۸ ^a | ۲/۶۳ ^a | ۲۵۴/۲ ^b | ۰/۰۴۱ ^b | ۰/۰۳۰ ^b |
| کلات | ۱۰۰ ^a | ۱۵/۴ ^a | ۱۲/۵ ^a | ۲/۲۴ ^a | ۰/۵۰ ^a | ۲/۷۵ ^a | ۲۷۴/۷ ^a | ۰/۰۵۶ ^a | ۰/۰۳۶ ^a |
| ۰ | ۹۵ ^a | ۱۴/۲ ^a | ۱۱/۸۷ ^a | ۱/۶ ^a | ۰/۳۸ ^a | ۱/۹۸ ^a | ۱۸۸/۱۰ ^a | ۰/۰۳۶ ^a | ۰/۰۲۶ ^a |
| شوری (میلی-مولار) | ۲۰۰ | ۹۱/۷ ^a | ۱۱/۴۶ ^a | ۱/۵۵ ^a | ۰/۳۳ ^a | ۱/۸۸ ^a | ۱۷۲/۳۷ ^a | ۰/۰۳۳ ^{ab} | ۰/۰۳۳ ^a |
| ۴۰۰ | ۸۰ ^b | ۸/۸ ^b | ۱۰ ^b | ۱/۳۱ ^b | ۰/۲۶ ^b | ۱/۵۷ ^b | ۱۲۰/۸ ^b | ۰/۰۲۹ ^b | ۰/۰۱۵ ^b |
| ۶۰۰ | ۷۶/۶۷ ^b | ۶/۷ ^b | ۹/۵۸ ^b | ۰/۶۷ ^c | ۰/۱۵ ^c | ۰/۸۳ ^c | ۶۶/۳۳ ^c | ۰/۰۲۲ ^c | ۰/۰۱۲ ^b |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

ریشه و وزن خشک اندام هوایی بترتیب برابر ۱۳/۴، ۰/۰۲۴ و ۰/۰۲ بود. درحالی‌که مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی در شوری ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش یافت. با توجه به اینکه میانگین تعداد شاخه فرعی و تعداد گره روند کاهشی را در افزایش شوری نشان دادند اما مقایسه میانگین آن دو تفاوت معنی‌داری را بین دو سطح شوری ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار نشان نداد ($P < 0.05$) (جدول ۵).

بررسی شاخص‌های رشدی: بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، اثر تنش شوری بر روی ارتفاع اندام هوایی، تعداد گره، حجم ریشه، طول ریشه، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی، وزن تر و وزن خشک ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ و برای تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). با افزایش سطوح تنش شوری در اکثر شاخص‌های رشدی کاهش مشاهده شد. بیش‌ترین کاهش در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار مربوط به تعداد گره، وزن تر

جدول ۴- تجزیه واریانس کود آهن و سطوح شوری بر روی برخی صفات گیاه سالیکورنیا

| منابع تغییرات | درجه آزادی | ارتفاع اندام هوایی | تعداد شاخه فرعی | تعداد گره | حجم ریشه | طول ریشه | میانگین مربعات | | | نسبت ریشه به اندام هوایی |
|---------------|------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| | | | | | | | وزن تر ریشه | وزن خشک اندام هوایی | وزن خشک ریشه | |
| شوری | ۳ | ۴۹/۴۰۴** | ۲۸/۶۳۰* | ۱۷۳۰/۵۲** | ۰/۲۶۴** | ۱۹/۴۶** | ۰/۶۰۸** | ۰/۰۰۲۹۲** | ۰/۳۳۱۶** | ۰/۰۰۰۷۹۹** |
| کود آهن | ۲ | ۳۱/۶۲۳** | ۳۵/۰۲۸* | ۱۰۸/۰۳ ^{ns} | ۰/۰۳۸** | ۸/۶۰* | ۰/۱۷۴** | ۰/۰۰۱۲۳** | ۰/۰۰۵۶۱** | ۰/۰۰۰۴۱۴** |
| کود آهن* شوری | ۶ | ۲/۲۰ ^{ns} | ۵۰/۷۶۹* | ۲۱۳/۹۹** | ۰/۰۰۳ ^{ns} | ۱/۸۷ ^{ns} | ۰/۰۹۱** | ۰/۰۰۰۴۳** | ۰/۰۰۱۳۷** | ۰/۰۰۰۱۱۶** |
| خطای آزمایش | ۲۴ | ۱/۲۰۹ | ۷/۳۸۹ | ۴۴/۴۲ | ۰/۰۰۲ | ۲/۱۵ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۲ | ۰/۰۰۰۰۰۵ |

ns غیر معنی‌دار، * و ** بترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده شوری و تیمار کود آهن بر خصوصیات گیاه سالیکورنیا

| تیمارها | ارتفاع اندام هوایی | تعداد شاخه فرعی | تعداد گره | حجم ریشه | طول ریشه (cm) | وزن تر اندام هوایی | وزن تر ریشه | وزن خشک اندام هوایی | وزن خشک ریشه | نسبت ریشه به اندام هوایی |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| ۰ | ۱۱/۴ ^a | ۱۲/۲ ^a | ۴۷ ^a | ۰/۶ ^a | ۹/۲ ^a | ۱ ^a | ۰/۰۶۵ ^a | ۰/۱۶ ^a | ۰/۰۳۵ ^a | ۰/۲۲ ^d |
| شوری (mM) | ۲۰۰ | ۷/۷ ^b | ۱۰/۸ ^{ab} | ۰/۵ ^b | ۷/۶ ^{ab} | ۰/۶ ^b | ۰/۰۵ ^b | ۰/۰۸ ^b | ۰/۰۲۵ ^b | ۰/۳۲ ^c |
| ۴۰۰ | ۷/۱ ^{bc} | ۸/۹ ^{ab} | ۲۵/۹ ^b | ۰/۳ ^c | ۶/۴ ^b | ۰/۵ ^{bc} | ۰/۰۳۶ ^c | ۰/۰۴ ^c | ۰/۰۱۷ ^c | ۰/۴۵ ^b |
| ۶۰۰ | ۶/۱ ^c | ۸/۳ ^b | ۱۳/۴ ^c | ۰/۲ ^d | ۵/۹ ^b | ۰/۴ ^c | ۰/۰۲۴ ^d | ۰/۰۲ ^d | ۰/۰۱۴ ^d | ۰/۶۴ ^a |
| شاهد | ۶/۲ ^b | ۸/۳ ^b | ۲۶/۱ ^a | ۰/۳۷ ^b | ۶/۴ ^b | ۰/۵ ^c | ۰/۰۳۵ ^c | ۰/۰۶ ^c | ۰/۰۱۸ ^c | ۰/۳۸ ^b |
| کود آهن | ۸/۸ ^a | ۱۰/۱ ^{ab} | ۳۲/۱ ^a | ۰/۴۳ ^a | ۷/۷ ^{ab} | ۰/۶ ^b | ۰/۰۴۲ ^b | ۰/۰۷ ^b | ۰/۰۲۱ ^b | ۰/۴۰ ^{ab} |
| نانوکود آهن | ۹/۲ ^a | ۱۱/۸ ^a | ۲۹/۲ ^a | ۰/۴۸ ^a | ۷/۹ ^a | ۰/۷ ^a | ۰/۰۵۴ ^a | ۰/۱ ^a | ۰/۰۲۹ ^a | ۰/۴۳ ^a |

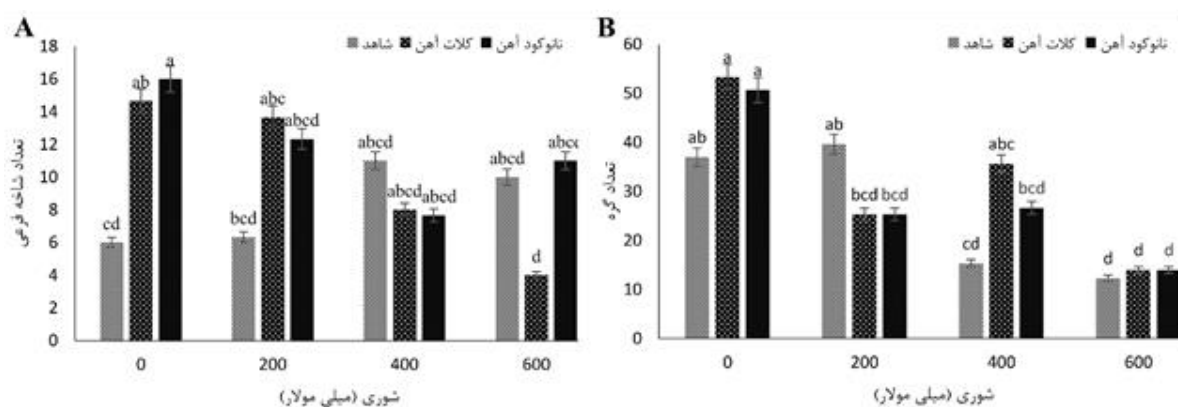
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که بین اثر تیمارهای کود آهن با ارتفاع اندام هوایی، حجم ریشه، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی، وزن تر و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱٪ و با تعداد شاخه فرعی، طول ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد اما با تعداد گره اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با صرف نظر از تنش شوری، تیمار نانوکود آهن و کود کلات آهن شاخص‌های رشدی گیاه سالیکورنیا را نسبت به شاهد بطور قابل توجهی افزایش دادند. تیمار نانوکود آهن رشد گیاه را به غیر از حجم ریشه بیش‌تر از کلات آهن تحت تاثیر قرار داد. این تاثیرپذیری بیش‌تر در تعداد شاخه فرعی، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی مشاهده شد و میانگین آن‌ها بترتیب تا ۱۱/۸، ۷/۹، ۰/۷، ۰/۱، ۰/۰۵۴، ۰/۰۲۹ و ۰/۴۳ افزایش یافت. با مقایسه میانگین حجم ریشه و ارتفاع اندام هوایی بیش‌ترین مقدار برای نانوکود آهن (بترتیب ۰/۴۸ و ۹/۲) و کلات آهن (بترتیب ۰/۴۳ و ۸/۸) بود که تفاوت معنی‌داری برای آن‌ها مشاهده نشد ($P < 0.05$) (جدول ۵).

داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که بین اثر تیمارهای کود آهن با ارتفاع اندام هوایی، حجم ریشه، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی، وزن تر و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱٪ و با تعداد شاخه فرعی، طول ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد اما با تعداد گره اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با صرف نظر از تنش شوری، تیمار نانوکود آهن و کود کلات آهن شاخص‌های رشدی گیاه سالیکورنیا را نسبت به شاهد بطور قابل توجهی افزایش دادند. تیمار نانوکود آهن رشد گیاه را به غیر از حجم ریشه بیش‌تر از

عمل کرده و باعث کاهش تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد شد. تیمار نانوکود آهن نیز در شوری ۴۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش نشان داد اما با افزایش سطح شوری تا ۶۰۰ میلی‌مولار مجدداً باعث افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد شد ($P < 0/05$) (شکل ۱).

در شرایط غیر تنش با کاربرد کود آهن تعداد گره افزایش معنی‌داری داشت و بیش‌ترین تعداد گره را نسبت به شاهد نشان داد. با مقایسه میانگین کود کلات آهن و نانو کود آهن مشخص شد که تفاوت معنی‌داری بین این دو تیمار در افزایش یا کاهش تعداد گره وجود ندارد اما هر دو این تیمارهای کودی کاهش تعداد گره را که با افزایش تنش شوری ایجاد می‌شود، تعدیل نمودند ($P < 0/05$) (شکل ۱).

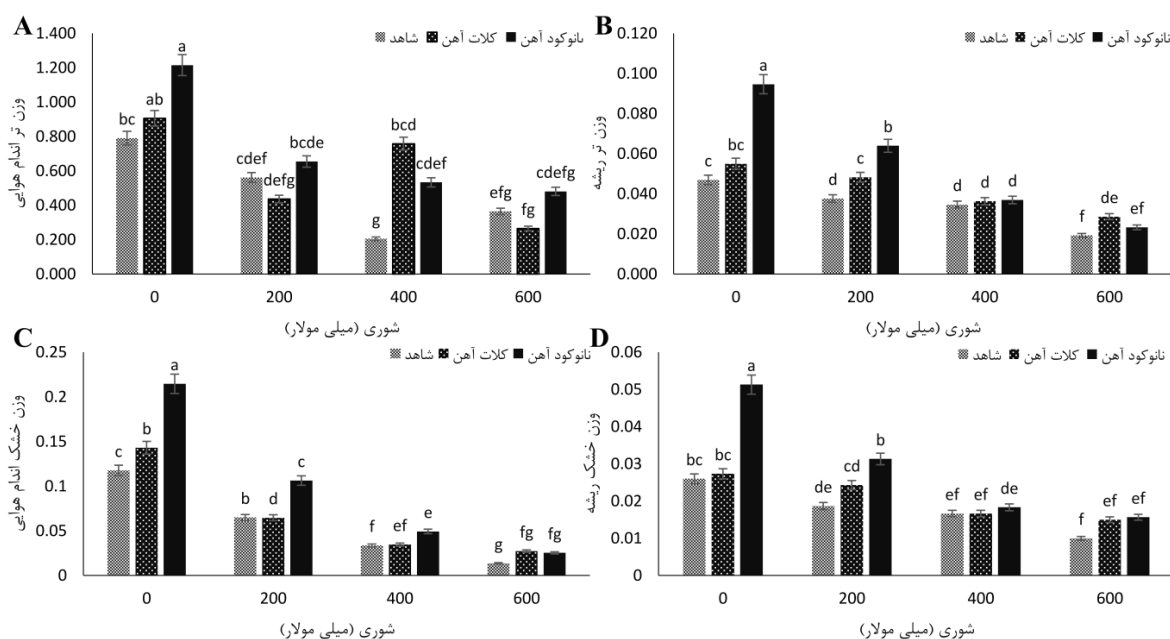


شکل ۱- نمودار اثرات متقابل تیمار نانو کود آهن × شوری برای صفات (A) تعداد شاخه فرعی؛ (B) تعداد گره

در شرایط غیر تنش نسبت ریشه به اندام هوایی در گیاهچه‌های بدون تیمار کود آهن بیش‌تر بود و کمترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی مربوط به تیمار کلات آهن (۰/۱۹) بود. در شرایط تنش بین شوری ۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری در شاهد وجود نداشت اما بطور کلی با افزایش سطوح شوری نسبت ریشه به اندام هوایی روند افزایشی نشان داد. در شرایط تنش کاربرد نانو کود آهن این روند را افزایش بیش‌تری داد بطوری که بیش‌ترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی (۰/۳۳) در تیمار نانوکود آهن در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد ($P < 0/05$) (شکل ۲).

اثر متقابل شوری و کود آهن بر تعداد گره، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ و بر تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). میانگین تعداد شاخه فرعی در شرایط غیر تنش ۶ بود که با افزایش سطوح شوری این تعداد افزایش یافت. اعمال تیمار کود آهن در شرایط غیر تنش سبب پر شاخه شدن و افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد شد بطوری که بیش‌ترین میانگین تعداد شاخه فرعی (۱۶) در گیاهچه‌های تحت تیمار نانو کود آهن مشاهده شد. کاربرد کود کلات آهن در شوری صفر و ۲۰۰ میلی‌مولار تعداد شاخه فرعی را افزایش داد اما با افزایش سطح شوری بصورت معکوس

وزن خشک اندام هوایی و هر دو وزن تر و خشک ریشه در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد بطور معنی‌داری کاهش یافت. در شرایط غیر تنش یا شوری صفر میلی‌مولار کاربرد نانوکود آهن بطور معنی‌داری وزن هر دو اندام را نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تنش در شوری ۴۰۰ میلی‌مولار کاربرد کود کلات آهن تاثیر زیادی بر افزایش وزن هر دو اندام نداشت اما در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار که وزن تر و خشک هر دو اندام به شدت کاهش یافت با اعمال تیمار نانوکود آهن و کلات آهن نسبت به شاهد این وضعیت اندکی بهبود نشان داد ($P < 0/05$) (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار اثرات متقابل تیمار نانو کود آهن × شوری برای صفات (A) وزن تر اندام هوایی؛ (B) وزن تر ریشه؛ (C) وزن خشک اندام هوایی؛ (D) وزن خشک ریشه

بحث و نتیجه گیری

(۲۰۱۷) سطوح مختلف شوری را بر شاخص‌های جوانه-زنی توده‌های مختلف سالیکورنیا بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که *S. europaea* قادر است تا شوری ۶۰۰ میلی‌مولار بیش از ۸۰ درصد جوانه‌زنی داشته باشد درحالی‌که توده‌هایی از گونه‌های دیگر جوانه‌زنی آن‌ها تا ۹۰ درصد نیز کاهش یافت (۲۴).

در آزمایش دوم با افزایش سطوح تنش شوری در اکثر شاخص‌های رشدی کاهش مشاهده شد. بیش‌ترین کاهش در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار مربوط به تعداد گره، وزن تر ریشه و وزن خشک اندام هوایی بود. درحالی‌که مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی در شوری ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش یافت. مطابق با این نتایج گزارش شده است که *S. europaea* در غلظت‌های متوسط نمک (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl) به سرعت رشد می‌کند و در شوری‌های شدید مانند آب دریا قادر به حفظ بقاء خود است (۱۸). شوری ممکن است بصورت مستقیم یا غیر مستقیم تقسیم سلولی و بزرگ شدن در رشد گیاه را مهار کند (۸). در حالی‌که هالوفیت‌ها بدلیل سازگاری‌های

شوری بعنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی، موجب کاهش عملکرد بسیاری از محصولات زراعی می‌شود اما برخی از گیاهان مانند هالوفیت‌ها نسبت به شوری مقاوم‌اند و در خاک‌های با شوری کم عملکرد مناسبی دارند. جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین مرحله رشدی گیاه است و بهبود آن می‌تواند عملکرد را افزایش دهد. در این میان برخی از عناصر ریز مغذی از قبیل آهن سبب بهبود جوانه‌زنی می‌شود. این مطالعه تاثیر نانوکود آهن و کلات آهن را بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد هالوفیت سالیکورنیا بررسی کرده است. نتایج نشان داد که کاربرد کود آهن به هر دو فرم کلاته و نانو سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی می‌شود که ممکن است کاربرد آن در خاک‌های با شوری-های بالا مفید باشد. زیرا در این گیاه در سطوح شوری پایین تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های جوانه‌زنی مشاهده نشد اما با افزایش شوری تا ۶۰۰ میلی‌مولار سرعت و درصد جوانه‌زنی و سایر صفات مربوط به جوانه‌زنی کاهش یافت. مطابق با این نتایج در پژوهشی صالحی و همکاران

اسانس (منتول و منتون) نسبت به شاهد شد (۲۱). Souza و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده کردند که تیمار نانوذرات آهن منجر به افزایش قابل توجهی در تجمع مواد مغذی در گیاهان لوبیا با تعیین بیشترین محتوی فسفر، پتاسیم، کلسیم، منگنز و آهن در ساقه، برگ و ریشه شد. نتایج نشان می‌دهد که تیمار نانوذرات آهن ممکن است در تبدیل فرم‌های نامحلول برخی عناصر به فرم‌های محلول آن نقش داشته باشد. به عبارت دیگر ریشه‌های تیمار شده با نانوذرات آهن مقدار منگنز و آهن بیشتری را در مقایسه با گیاهان شاهد جذب و انباشت می‌کنند (۹). جلالی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که تیمار نانوذرات آهن در ذرت سبب افزایش مقدار آهن کل در اندام هوایی می‌شود (۱۲). رستمی و همکاران اثرات محلول‌پاشی نانوآکسید روی و آهن در گیاه مادری گندم را تحت تنش شوری بررسی نمودند. آن‌ها نه سطح محلول‌پاشی شامل، صفر (بدون محلول‌پاشی)، نانوآکسید آهن ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نانوآکسید روی ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ترکیب این سطوح را در سه سطح تنش شوری (۰، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) اعمال کردند. نتایج نشان داد که، کم‌ترین درصد و سرعت سبز شدن و شاخص‌های رشدی گیاهچه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. همچنین محلول‌پاشی نانو آکسید روی و آهن در گیاه مادری گندم اثرات بازدارنده تنش شوری را در برخی از صفات مورد مطالعه بطور معنی‌داری تعدیل نمود (۲۲). در پژوهشی دیگر کاربرد نانوذرات آهن در کاهو منجر به حفظ آهن در ریشه بعنوان ترکیبات نامحلول شد (۲۶). در حالیکه Yuan و همکاران (۲۰۱۸) یافتند که مقدار آهن کل در هر دو اندام هوایی و ریشه *Capsicum annuum* افزایش داشت (۳۲).

در خاک‌های آهکی در برخی موارد بدلیل غیرفعال شدن مقادیر بالایی از آهن و در موارد دیگر بدلیل کاهش جذب آهن علائم کمبود آهن مانند کلروز ناشی از آهک مشاهده خواهد شد. برای برطرف کردن کمبود آهن روش‌های

بیوشیمیایی و مورفولوژیکی می‌توانند به شوری بالای خاک غلبه کنند (۳۰). در بررسی سایر گونه‌های گیاهی مانند پنج رقم مختلف آفتابگردان تیمار شوری سبب شد تا ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل، کارایی فتوشیمیایی، غلظت پتاسیم و آهن در اندام هوایی کاهش و غلظت سدیم افزایش یابد (۱). بنابراین غلظت بالای نمک در محلول خاک می‌تواند محتوای ماده خشک گیاهی و سطح برگ را کاهش دهد، نسبت ریشه به اندام-هوایی را افزایش دهد و سرانجام سبب کاهش محصول گردد. از طرف دیگر با افزایش غلظت نمک ممکن است تنش سمیت یونی به وجود آید که اگر همراه با تعرق باشد مقادیر بیش از حد نمک در برگ‌های تعرق‌کننده انباشته می‌شود و منجر به کاهش رشد و مرگ زودرس می‌گردد (۱۷).

همچنین، در آزمایش دوم که تیمار نانوکود آهن و کلات آهن بر شاخص‌های رشدی سالیکورنیا بررسی شد، مشاهده گردید که این دو کود، رشد را نسبت به شاهد بطور قابل توجهی افزایش دادند. در شرایط غیر تنش نانوکود آهن شاخص‌های رشدی سالیکورنیا را به غیر از حجم ریشه بیش‌تر از کود کلات آهن تحت تاثیر قرار داد. در شرایط تنش تیمار نانو کود آهن این روند را افزایش بیش‌تری داد بطوری که بیش‌ترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی در تیمار نانوکود آهن در شوری ۶۰۰ میلی-مولار مشاهده شد. در مطالعه‌ای سطوح مختلف نانوکودکلات آهن و سکوسترین آهن بر عناصر غذایی و پارامترهای رشد لوبیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سطح آهن اکثر خصوصیات رشدی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. اما بین دو نوع کود اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمار دو نوع کود آهن منجر به کاهش غلظت فسفر و منگنز اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد (۲). در مطالعه‌ای دیگر روی نعنای فلفلی کاربرد نانوکودهای روی و آهن تحت شرایط شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار باعث بهبود بیوماس گیاه و افزایش

زمانیکه مواد مغذی به خاک اضافه می‌شود بر روی ذرات خاک قرار گرفته و دسترسی کمتری به محیط ریشه خواهند داشت. با این روش، عناصر بطور مستقیم در اختیار اندام‌های هوایی گیاه قرار می‌گیرند (۲۳، ۲۹). در نتیجه تأمین عناصر معدنی به شیوه محلول‌پاشی برای نواحی خشک و نیمه خشک کشور دارای خاک‌های آهکی با pH بالا و خاک‌های شور می‌تواند کارایی بالاتری داشته باشد. از طرفی نیز با توجه به اهمیت اقتصادی و ویژگی‌های زراعی گیاه بسیار هالوفیت سالیکورنیا که می‌توان آن را در اراضی شور کشت کرد و با آب شوری شدید آبیاری نمود می‌توان امیدوار بود با پیشبرد تحقیقات در این زمینه بسیاری از اراضی شور که غیر قابل کشت اند را به کشت این گیاه اختصاص داد.

مختلفی از جمله استفاده از مواد اصلاحی اسیدزا، کلات‌های آهن ترکیبات آلی و روش محلول‌پاشی عناصر وجود دارد (۷، ۱۶). اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف نانو ذرات اکسید آهن بر خصوصیات فیزیولوژیکی و رشد *Lallemantia royleana* نشان داد که نانو اکسید آهن خصوصیات فیزیولوژیکی از جمله کلروفیل، کاروتنوئید و پارامترهای رشد به جز تعداد برگ را بطور معنی‌داری افزایش داد اما بر میزان پرولین اثر معنی‌داری نداشت (۳). در پژوهشی کاربرد عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بصورت تغذیه برگگی سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوی کلروفیل در گیاه برنج گردید (۳۳). تغذیه برگگی مواد معدنی مانند آهن، بور، منگنز و مس نسبت به استفاده آن‌ها بصورت خاکی مناسب‌تر است زیرا

منابع

- ۱- تریبان، ش و زاهدی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تغذیه برگگی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانو ذرات بر رشد ارقام آفتابگردان تحت تنش شوری، مجله علوم گیاهان زراعی ایران، شماره ۱، صص ۱۰۹-۱۱۸.
- ۲- جوکار، ل.، رونقی، ع. ا.، کریمیان، ن. ع و قاسمی فسایی، ر. ۱۳۹۴. اثر کاربرد سطوح مختلف آهن از نانوکود کلات آهن و سکوسترین آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی گیاه لوبیا
- ۳- سرآبادانی، ب.، عسگری، م.، طالبی، س. م و امینی، ف. ۱۳۹۴. بررسی اثر محلول‌پاشی اکسید آهن بر خصوصیات فیزیولوژیکی و پارامترهای رشد گیاه بالنگو شیرازی *Lallemantia royleana*، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری.
- 4- Agrawal, R.L., 2004. Seed technology. New Delhi.
- 5- Bajji, M., Kinet, J.-M., Lutts, S., 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). Can. J. Bot. 80, 297-304.
- 6- Balážová, L., Babula, P., Baláž, M., Bačkorová, M., Bujňáková, Z., Briančin, J., Kurmanbayeva, A., Sagi, M., 2018. Zinc oxide nanoparticles phytotoxicity on halophyte from genus *Salicornia*. Plant Physiol. Biochem. 130, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.013>
- 7- Bavaresco, L., Fregoni, H., Frascini, P., 1992. Investigations on some physiological parameters involved in chlorosis occurrence in grafted grapevine. J. Plant Nutr. 15, 1791-1807.
- 8- Bernstein, L., Francois, L.E., Clark, R.A., 1974. Interactive Effects of Salinity and Fertility on Yields of Grains and Vegetables. Agron. J. 66, 412. <https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600030023x>
- 9- De Souza, A., Govea-Alcaide, E., Masunaga, S.H., Fajardo-Rosabal, L., Effenberger, F., Rossi, L.M., Jardim, R.F., 2019. Impact of Fe₃O₄ nanoparticle on nutrient accumulation in common bean plants grown in soil. SN Appl. Sci. 1, 308. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0321-y>
- 10- Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1998. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci. Hortic. (Amsterdam). 78, 127-157. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00192-7)
- 11- Hryniewicz, K., Patz, S., Ruppel, S., 2019.

- Salicornia europaea* L. as an underutilized saline-tolerant plant inhabited by endophytic diazotrophs. J. Adv. Res. 19, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.05.002>
- 12- Jalali, M., Ghanati, F., Modarres-Sanavi, A.M., Khoshgoftarmanesh, A.H., 2017. Physiological effects of repeated foliar application of magnetite nanoparticles on maize plants. J. Agron. Crop Sci. 203, 593–602. <https://doi.org/10.1111/jac.12208>
 - 13- Koyro, H., Khan, M.A., Lieth, H., 2011. Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis? 23, 1–16.
 - 14- Mazaherinia, S., Astarai, A., Fotovat, A., 2010. Nano Iron Oxide Particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu Concentrations in Wheat Plant. World Appl. Sci. J. 7.
 - 15- Mirshekari, B., 2015. Effects of seed priming with microelements of Fe and B on some germination parameters and yield of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iran. J. Med. Aromat. Plants 30.
 - 16- Morales, F., Grasa, R., Abadía, A., Abadía, J., 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees. J. Plant Nutr. 21, 815–825.
 - 17- Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13, 143–160. <https://doi.org/10.1071/PP9860143>
 - 18- Muscolo, A., Panuccio, M.R., Piernik, A., 2014. Ecology, Distribution and Ecophysiology of *Salicornia Europaea* L., in: Sabkha Ecosystems. Springer, pp. 233–240. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7411-7_16
 - 19- Pirzad, A., Jabbarzadeh, M., 2016. Physiological response of common glasswort (*Salicornia europaea* L.) to potassium nano-particles grown in saline soils around the lake Urmia.
 - 20- Roosta, H.R., Jalali, M., Ali Vakili Shahrabaki, S.M., 2015. Effect of Nano Fe-Chelate, Fe-Eddha and FeSO₄ on Vegetative Growth, Physiological Parameters and Some Nutrient Elements Concentrations of Four Varieties of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) In NFT System. J. Plant Nutr. 38, 2176–2184. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1043378>
 - 21- Rostami, G., Ghasemi Pirbalouti, A., & Tehranifar, A. 2020. The effect of sulfate and nano particles of iron and zinc on biomass, content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil under salt stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33(3), 505-515.
 - 22- Rostami, M., Javadi, A., & Hosseinzadeh, S. M. (2020). Induction of resistance to salinity stress in the produced seeds of wheat after foliar application of nano-zinc oxide and nano-iron oxide. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33(3), 553-565.
 - 23- Sarkar, D., Mandal, B., Kundu, M.C., 2007. Increasing use efficiency of boron fertilisers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. Plant Soil 301, 77–85. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9423-1>
 - 24- Salehi, M., Dehghany, F., Ebrahimi, N.G., 2017. Successful *Salicornia* seed production using saline water 4, 37–46. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.56175>
 - 25- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A., 2014. Physiology Plants 761.
 - 26- Trujillo-Reyes, J., Majumdar, S., Botez, C.E., Peralta-Videa, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., 2014. Exposure studies of core-shell Fe/Fe₃O₄ and Cu/CuO NPs to lettuce (*Lactuca sativa*) plants: Are they a potential physiological and nutritional hazard? J. Hazard. Mater. 267, 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.067>
 - 27- Wang, X., Bai, J., Wang, W., Zhang, G., Yin, S., Wang, D., 2020. A comparative metabolomics analysis of the halophyte Suaeda salsa and *Salicornia europaea*. Environ. Geochem. Health 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00569->
 - 28- Weber, D.J., Ansari, R., Gul, B., Ajmal Khan, M., 2007. Potential of halophytes as source of edible oil. J. Arid Environ. 68, 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.010>
 - 29- Wissuwa, M., Ismail, A.M., Graham, R.D., 2008. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability, and zinc fertilization. Plant Soil 306, 37–48. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9368-4>
 - 30- Xu, C., Tang, X., Shao, H., Wang, H., 2016. Salinity tolerance mechanism of economic halophytes from physiological to molecular hierarchy for improving food quality. Curr. Genomics 17, 207–214. <https://doi.org/10.2174/1389202917666160202215548>
 - 31- Yadav, S., Irfan, M.D., Ahmad, A., Hayat, S., 2011. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review. J. Environ. Biol. 32, 667–685.
 - 32- Yuan, J., Chen, Y., Li, H., Lu, J., Zhao, H., Liu,

M., Nechitaylo, G.S., Glushchenko, N.N., 2018. New insights into the cellular responses to iron nanoparticles in *Capsicum annuum*. *Sci. Rep.* 8, 3228. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18055-w>

33- Zayed, B.A., Salem, A.K.M., El Sharkawy, H.M., 2011. Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa* L.) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. *World J. Agric. Sci.* 7, 179–184.

Evaluation of the effect of nano and chelated iron fertilizer in *Salicornia* under salinity stress

Riaihinia Sh.¹, Danaeipour Z.^{2*}

¹ Faculty of Agriculture, Payame Noor University, I.R. of Iran.

² Dept. of Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, I.R. of Iran.

Abstract

Salinity is one of the most important abiotic stress in the arid or semi-arid regions of Iran. salinity-induced nutritional disorders may result from the effect of salinity on nutrient availability in soil and Reduction of nutrient uptake within the plant. In this study, seed germination and plant growth indices of *Salicornia* were evaluated in two stages. The first factor was salinity, including 0, 200, 400 and 600 mM NaCl and the second was Nano-Fe and chelated-Fe fertilizer. The experiment was carried out based on the factorial complete randomized design with two factors and three replicates. The results showed that with increased salinity, germination rate and percentage, Stem length, root length, seedling height, vigor index and stem weight were decreased. The 600 mM salinity in the vegetative stage caused a decline in growth, especially in the number of nodes, and root fresh and shoot dry weights. Nano-Fe and chelated-Fe fertilizer led to improving germination and a significant increase in *Salicornia* growth indices compared to control. In stress conditions, the application of nano-Fe more increased growth so that the highest root to shoot ratio (0.73) was obtained in the treatment of nano-Fe at 600 mM salinity. The maximum root volume and shoot height were detected in Nano-Fe fertilizer (respectively, 0.48 and 9.2) and chelated-Fe fertilizer (respectively, 0.43 and 8.8) that no significant differences between those. However, the application of both the nano-Fe and chelated-Fe, Particularly foliar spraying, can be useful in modulating salinity in the arid or semi-arid regions.

Key words: *Salicornia*, Abiotic stress, Germination, Vegetative stage, Fe-Nano fertilizer.