DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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

شهرام ریاحی‌نیا[۱] و زهرا دانایی‌پور[۲*]

[۱] ایران، دانشگاه پیام نور، گروه علوم و مهندسی کشاورزی

[۲] ایران، قزوین، دانشگاه بین المللی 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 کاملا تصادفی و در سه تکـرار مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور اول شامل چهار سطح ۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار NaCl و فاکتور دوم تیمار نانوکود 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 نانوکود 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 بطوری که بیش‌ترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی (۷۳/۰) در تیمار نانوکود آهن در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. با مقایسه میانگین حجم ریشه و ارتفاع اندام هوایی بیش‌ترین مقدار برای نانوکود آهن (بترتیب ۴۸/۰ و ۲/۹) و کلات آهن (بترتیب ۴۳/۰ و ۸/۸) بود که تفاوت معنی‌داری برای آن‌ها مشاهد نشد، بنابراین هر دو نوع کود آهن از نظر تعدیل اثرات شوری به ویژه بصورت محلول‌پاشی در نواحی گرم و خشک می‌توانند مفید باشند.

واژه های کلیدی: سالیکورنیا، تنش غیرزیستی، جوانه‌زنی، رشد رویشی، نانوکود آهن.

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

مقدمه

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 تقریبا 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 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).

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

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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 برگی از طریق محلول پاشی و استفاده از کلات آهن دو روش عمومی کاربرد این عنصر به شمار می‌رود. اعمال تیمار پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی در افزایش غلظت آهن گیاه گندم تاثیر معنی‌داری نشان داد که احتمالا به دلیل خاصیت نانوذرات و حلالیت بیشتر آن ها 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 آن باشد. بنابراین می توانند 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 نموی گیاه، کلیدی‌ترین و حساس‌ترین مرحله در سبز شدن و استقرارگیاهچه 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 مستقیما 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 سوخت‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶،۱۳،۲۸). در طب سنتی برای درمان بیماری‌های روده‌ای، کلیوی و هپاتیت کاربرد دارد و دارای خواص ضد دیابت، ضد التهاب، آنتی اکسیدان 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

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

کارتنوئید 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–متیلن دی اکسی کرومون (6,7-methylenedioxychromone) و ۷–O-β-D– گلوکوپیرانوزیل۶–متوکسی کروم (7--O-b-D-glucopyranosyl-6-methoxychromoe) 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 برگی نانوذرات پتاسیم متفاوت بود. با تغذیه برگی 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 نانوکودآهن 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، وزن‌تر ریشه و اندام هوایی، 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 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 بذر 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 کاملا 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 به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا 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 ۳۰–۰ سانتی‌متری

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

دارای pH=۴/۷ و EC=۴ از زمین‌های محوطه دانشگاه پیام نور کاشته شدند (جدول ۱). گلدان‌ها در دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین رطوبت ۴۰ درصد و ۱۸ ساعت روشنایی قرار گرفتند. برای استقرار گیاهچه‌های سالیکورنیا به مدت ۵ هفته آبیاری با آب معمولی صورت گرفت و در این مدت چندین مرتبه کود کامل گیاهی به تمام گلدان‌ها داده شد. بدلیل اینکه کنترل سطح شوری در خاک در طول مدت انجام آزمایش دشوار است، پس از مرحله استقرار گیاهچه‌ها، تنش شوری با آب آبیاری حاوی سطوح مختلف نمک سدیم کلراید بترتیب ۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار آبیاری گردید. تیمار نانوکود آهن و کلات آهن دو مرتبه بصورت متناوب و با فاصله زمانی ۱۰ روز، روی سطوح گیاه محلول پاشی شد بطوری که کل گیاه با محلول به خوبی آغشته شود. شاهد هیچ نوع کود 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 وزن‌تر ریشه و اندام هوایی برحسب گرم با ترازو با دقت ۰۰۱/۰ 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

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 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).

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	۰/۰۰۰۰۱۲

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

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

در بررسی مقایسه میانگین اثر کود آهن، بیشترین مقادیر وزن ریشه‌چه و وزن ساقه‌چه بترتیب ۰۳۶/۰ و ۰۵۶/۰ مربوط به تیمار کلات آهن بود. همچنین در تیمار کلات آهن تمام بذور جوانه زدند (۱۰۰ درصد) و سه خصوصیت جوانه‌زنی نظیر سرعت جوانه‌زنی (۴/۱۵)، میانگین جوانه-زنی روزانه (۵/۱۲) و شاخص ویگور (۷/۲۷۴) بیشترین مقادیر را نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین میانگین طول ریشه‌چه در نانوکود آهن و کلات آهن بترتیب ۴۸/۰ و۵۰/۰ و کمترین مقدار در شاهد بدست آمد. بیشترین مقدار ارتفاع گیاه‌چه نیز در هر دو تیمار نانوکودآهن و کلات آهن بترتیب ۶۳/۲ و ۷۵/۲ بود که نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین این دو کود در این صفت وجود ندارد (جدول۳).

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 (۵۸/۹)، طول ریشه‌چه (۱۵/۰)، ارتفاع گیاهچه (۸۳/۰)، شاخص ویگور (۳۳/۶۶) و وزن ساقه‌چه (۰۲۲/۰) 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.

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
آهن	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}
	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}
شوری (میلی-مولار)	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}
	۲۰۰	۹۱/۷^{a}	۱۲/۹^{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.

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 ریشه و وزن خشک اندام هوایی بترتیب برابر ۴/۱۳، ۰۲۴/۰ و ۰۲/۰ 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).

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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

		میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع اندام هوایی	تعداد شاخه فرعی	تعداد گره	حجم ریشه	طول ریشه	وزن‌تر اندام هوایی	وزن‌تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی
شوری	۳	۴۹/۴۰۴**	۲۸/۶۳۰*	۱۷۳۰/۵۲**	۰/۲۶۴**	۱۹/۴۶**	۰/۶۰۸**	۰/۰۰۲۹۲**	۰/۳۳۱۶**	۰/۰۰۰۷۹۹**	۰/۲۹۳**
کود آهن	۲	۳۱/۶۲۳**	۳۵/۰۲۸*	۱۰۸/۰۳ ns	۰/۰۳۸**	۸/۶۰*	۰/۱۷۴**	۰/۰۰۱۲۳**	۰/۰۰۵۶۱**	۰/۰۰۰۴۱۴**	۰/۰۰۸*
کودآهن* شوری	۶	۲/۲۰۲ ns	۵۰/۷۶۹*	۲۱۳/۹۹**	۰/۰۰۳ ns	۱/۸۷ ns	۰/۰۹۱**	۰/۰۰۰۴۳**	۰/۰۰۱۳۷**	۰/۰۰۰۱۱۶**	۰/۰۱۳**
خطای آزمایش	۲۴	۱/۲۰۹	۷/۳۸۹	۴۴/۴۲	۰/۰۰۲	۲/۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۲۱

ns غیرمعنی‌دار، * 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
شوری (mM)	۰	۱۱/۴a	۱۲/۲a	۴۷a	۰/۶a	۹/۲a	۱a	۰/۰۶۵a	۰/۱۶a	۰/۰۳۵a	۰/۲۲d
	۲۰۰	۷/۷b	۱۰/۸ab	۳۰/۱b	۰/۵b	۷/۶ab	۰/۶b	۰/۰۵b	۰/۰۸b	۰/۰۲۵b	۰/۳۲c
	۴۰۰	۷/۱bc	۸/۹ab	۲۵/۹b	۰/۳c	۶/۴b	۰/۵bc	۰/۰۳۶c	۰/۰۴c	۰/۰۱۷c	۰/۴۵b
	۶۰۰	۶/۱c	۸/۳b	۱۳/۴c	۰/۲d	۵/۹b	۰/۴c	۰/۰۲۴d	۰/۰۲d	۰/۰۱۴d	۰/۶۴a
کودآهن	شاهد	۶/۲b	۸/۳b	۲۶/۱a	۰/۳۷b	۶/۴b	۰/۵c	۰/۰۳۵c	۰/۰۶c	۰/۰۱۸c	۰/۳۸b
	کلات آهن	۸/۸a	۱۰/۱ab	۳۲/۱a	۰/۴۳a	۷/۷ab	۰/۶b	۰/۰۴۲b	۰/۰۷b	۰/۰۲۱b	۰/۴۰ab
	نانوکود آهن	۹/۲a	۱۱/۸a	۲۹/۲a	۰/۴۸a	۷/۹a	۰/۷a	۰/۰۵۴a	۰/۱a	۰/۰۲۹a	۰/۴۳a

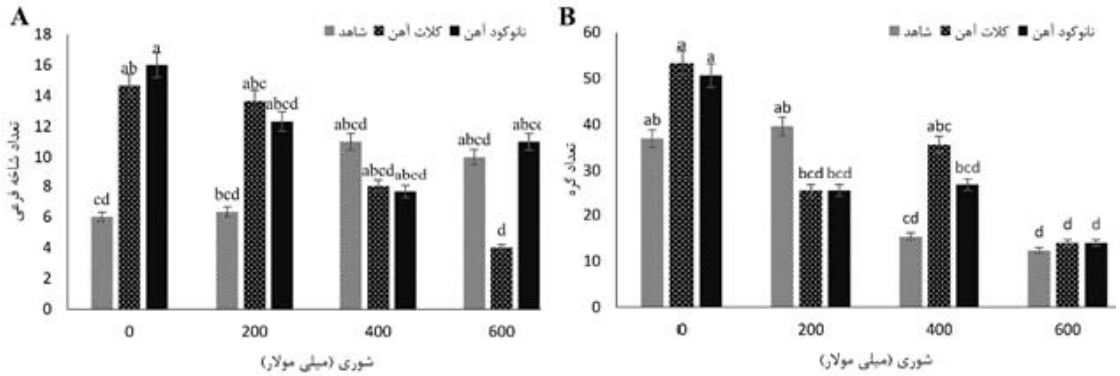
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

داده های 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 معنی-داری 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، وزن‌تر و خشک اندام هوایی، وزن‌تر و خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی مشاهده شد و میانگین آن‌ها بترتیب تا ۸/۱۱، ۹/۷، ۷/۰، ۱/۰، ۰۵۴/۰، ۰۲۹/۰ و ۴۳/۰ افزایش یافت. با مقایسه میانگین حجم ریشه و ارتفاع اندام هوایی بیش‌ترین مقدار برای نانوکود آهن (بترتیب ۴۸/۰ و ۲/۹) و کلات آهن (بترتیب ۴۳/ ۰ و ۸/۸) بود که تفاوت معنی‌داری برای آن‌ها مشاهد نشد (P<۰۵/۰) (جدول ۵).

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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 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 مجددا باعث افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد شد (P<۰۵/۰) (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<۰۵/۰) (شکل ۱).

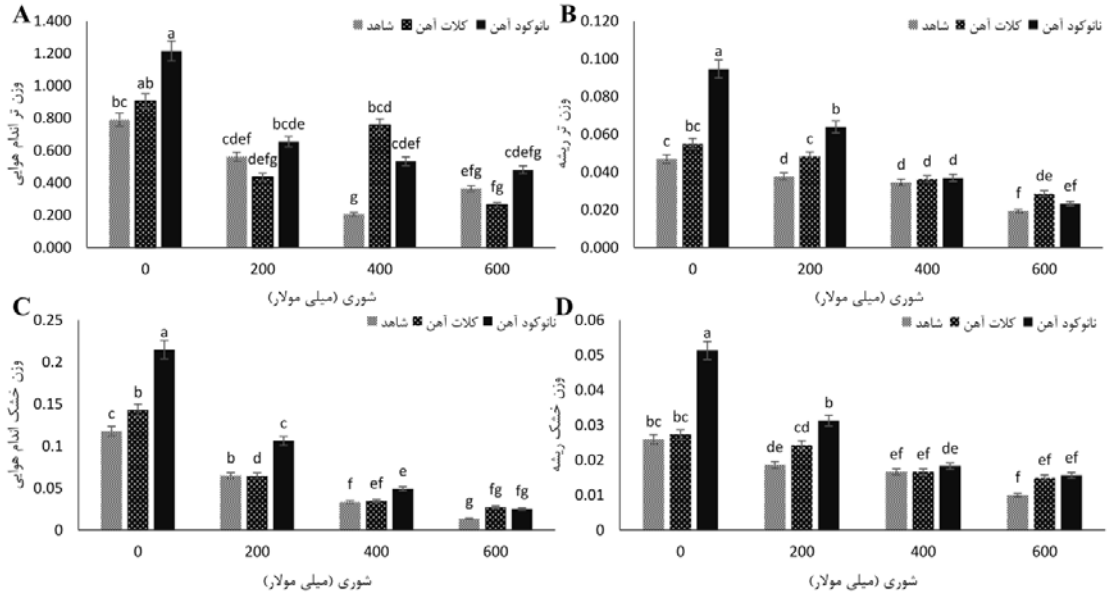


شکل ۱- نمودار اثرات متقابل تیمار نانو کود آهن × شوری برای صفات (A) تعداد شاخه فرعی؛ (B) تعداد گره

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<۰۵/۰) (شکل ۲).

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 (۱۹/۰) 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 (۷۳/۰) در تیمار نانوکود آهن در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (P<۰۵/۰) (شکل ۲).

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5



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

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 شوری‌های بالا مفید باشد. زیرا در این گیاه در سطوح شوری پایین تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های جوانه‌زنی مشاهد 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 (۲۰۱۷) سطوح مختلف شوری را بر شاخص‌های جوانه‌زنی 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

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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 تعرق کننده 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 نعناع فلفلی کاربرد نانوکودهای روی و آهن تحت شرایط شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار باعث بهبود بیوماس گیاه و افزایش 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 نانواکسید روی و آهن در گیاه مادری گندم را تحت تنش شوری بررسی نمودند. آن‌ها نه سطح محلول‌پاشی شامل، صفر (بدون محلول‌پاشی)، نانواکسید آهن ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نانواکسید روی۷۵۰ 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 اکسید 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

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

مختلفی از جمله استفاده از مواد اصلاحی اسیدزا، کلات-های آهن ترکیبات آلی و روش محلول پاشی 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 پارامتر های 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 برگی سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوی کلروفیل در گیاه برنج گردید (۳۳). تغذیه برگی مواد معدنی مانند آهن، بور، منگنز و مس نسبت به استفاده آن‌ها بصورت خاکی مناسب‌تر است زیرا 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 اندام-های هوایی گیاه قرار می‌گیرند (۲۹،۲۳). 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.

منابع

۱- ترابیان، ش و زاهدی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تغذیه برگی 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 در یک خاک آهکی، مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، شماره ۲۲.

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 بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش ها 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, Ľ., 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., Fraschini, 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 Vegetables1. 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 Fe_3O_4 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

11- Hrynkiewicz, K., Patz, S., Ruppel, S., 2019.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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., Astaraei, 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 Shahrbabaki, S.M., 2015. Effect of Nano Fe-Chelate, Fe-Eddha and FeSO4on 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,

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

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.