مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۱۱، شماره ۴، صفحات ۸۲ الی ۹۷ (۱۴۰۳)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 11(4): 82-97 (2025)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press;

# تأثیر آهن و کیتوزان بر شاخص‌های رشدی، قند محلول و یون‌های سدیم، پتاسیم، آهن و کلسیم در گیاه کاملینا تحت تنش شوری

**اعظم سلیمی*[۱]، علی عباسی، مریم چاوشی ریزی**
[۱] گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
**مسئول مکاتبات:** اعظم سلیمی Salimi@khu.ac.ir

**چکیده.** گیاه کاملینا عضو مهم خانواده Cruciferae، به عنوان یک گیاه روغنی استفاده می‌شود. کیتوزان یک بیوپلیمر طبیعی که به عنوان یک محرک زیستی و ترکیب غیر سمی و سازگار با محیط زیست می‌باشد که به طور گسترده‌ای در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی مؤثر است. آهن یک ریزمغذی ضروری برای همه موجودات زنده است زیرا نقش مهمی در فرآیندهای تنفس و فتوسنتز دارد. در این تحقیق تأثیر کیتوزان و آهن همراه با تیمار شوری ۰، ۸، ۱۲، دسی زیمنس بر متر و کیتوزان با غلظت‌های ۰، ۰/۲، ۰/۴، گرم بر لیتر و آهن نیز با غلظت‌های ۰، ۳، ۶، گرم بر لیتر و به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. به دلیل به هم خوردن تعادل یونی میزان سدیم افزایش داشته، از طرفی رشد ریشه افزایش داشته تا بتواند آب مورد نیاز گیاه را تأمین کند. با توجه به اثرات مخرب تنش، افزایش سدیم بر سایر پارامترها نیز تأثیر داشته و باعث کاهش آهن، کلسیم، طول ساقه و وزن خشک اندام هوایی شده است. در بررسی اثر متقابل شوری، کیتوزان و آهن مشاهده شده که طول ساقه، سطح برگ، بیومس، محتوای نسبی آب، سدیم، پتاسیم و کلسیم و کربوهیدرات افزایش‌یافته‌اند و وزن خشک ریشه کاهش پیدا کرده است. تیمارهای نامبرده با تأثیر بر محتوای نسبی آب، تنظیم یون‌ها و محلول‌های سازگاری مانند قند برگ توانسته شرایط گیاه را مانند شرایط بدون تنش حفظ کند و اثرات ناشی از تنش شوری را کاهش داده و به رشد گیاه کمک کند.

**واژه‌های کلیدی:** کیتوزان، تنش شوری، کاملینا، یون‌های سدیم و پتاسیم

# The effect of chitosan and Iron on growth parameters, soluble sugar, sodium, potassium, iron and calcium ions in Camelina under salinity stress

**Azam salami*[1], Ali abbasi, Maryam Chavoushi Rizi**
[1]Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
Corresponding author: Azam salami, salimi@khu.ac.ir

**Abstract.** Camelina (Cruciferae), is an oilseed. Chitosan is a natural biopolymer, non-toxic, and biocompatible which favors potentially broad application in biotic and abiotic stress. Iron is an essential micronutrient for almost all living organisms because it plays a critical role in metabolic processes respiration, and photosynthesis. In this research, examined the salinity (0, 8, 12, ds/m), (0, 5/12, 7/6 g/l) chitosan (0, 0.2, 0.4, g/l) and iron (0, 3, 6, g/l) based on a randomized block design with three replications. The sodium, root growth increased significantly in salinity. The irons and growth parameters decreased because the ionic ratio has been changed. Root increased to provide water. Due to the destructive effects of salinity, the increase of sodium has also affected other parameters and caused the decrease of iron and calcium. Stress has been reduced the shoot growth by affecting the growth of the plant. In this study, the interaction of salinity, chitosan, and iron, it was observed that the stem length, biomass, RWC, ions, carbohydrates increased and the root growth decreased. It has effect on RWC, regulating ions and compatible solutes, have been able to maintain the plant's conditions like stress-free conditions reduce the effects of salinity, and help plant growth.

**Key words.** chitosan, salinity stress, camelina, sodium and potassium ions
Received 12.09.2023/ Revised 19.02.2025/ Accepted 19.02.2025/ Published 15.03.2025
دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱/ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱/ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱/ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

## مقدمه

شوری خاک یکی از مشکلات در حال توسعه در خاک‌های کشاورزی است که رشد و نمو گیاهان را در مناطق خشک و نیمه خشک محدود می‌کند (Abdelrady et al., 2024). خاک‌های شور، به خاک‌های اطلاق می‌شود که نمک به اندازه کافی در ناحیه ریشه تجمع یافته و باعث به تأخیر انداختن رشد گیاه می‌شود. تأثیر شوری به گونه گیاهی، مرحله رشد و محیط بستگی دارد. تأثیر مستقیم نمک‌ها بر رشد گیاهان به سه دسته طبقه‌بندی شده است، یکی کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک که به دنبال آن مقدار آب در دسترس گیاه را کاهش می‌دهد. دوم، تغییر فیزیکی خاک که نفوذپذیری آب و هوادهی خاک را کاهش می‌دهد. سوم، افزایش غلظت یون‌های خاص که با مختل کردن تعادل یون‌ها، به غشا آسیب رسانده و بر متابولیسم گیاه اثرات منفی داشته است. همچنین شوری باعث افزایش نسبت ریشه به ساقه، کاهش وزن خشک گیاه، افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در گیاهان می‌شود ( Al Otaibi et al., 2024).

کیتوزان یک پلیمر طبیعی خطی است که فعالیت‌های بسیاری در شرایط تنش نشان می‌دهد. کیتوزان باعث افزایش رشد گیاه، تولید متابولیت‌های ثانویه، افزایش فتوسنتز، بیوسنتز هورمون‌های گیاهی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در شرایط تنش زیستی و غیرزیستی می‌شود (Chandrasekaran & Paramasivan, 2024). کیتوزان قادر به کاهش مالون دی آلدئید و کاهش آسیب غشاء است و از طریق یک مسیر انتقال از طریق پیام‌رسان‌های ثانویه، توانایی افزایش مقاومت محصولات مختلف در برابر تنش‌های غیر زیستی مختلف را دارد (Alenazi et al., 2024). به‌عنوان‌مثال می‌تواند سرعت فتوسنتز و بسته شدن روزنه را از طریق مسیر سیگنال‌دهی آبسیزیک اسید افزایش دهد، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را از طریق مسیرهای سیگنال‌دهی نیتریک اکسید و پراکسید هیدروژن تحریک کند و اسیدهای آمینه را برای تنظیم اسمزی و متابولیسم انرژی در شرایط استرس غیر زیستی مورد نیاز است، تقویت کند ( Alenazi et al., 2024). گزارش شده است که کاربرد کیتوزان در طول تنش شوری، منجر به افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای مالون دی آلدئید شد که درنهایت اثرات منفی تنش نمک را در گیاهان لوبیا (*Vigan radiata* L.)، ذرت (*Zea mays*) و اسفرزه (*Plantago ovata* L.) کاهش داده است (Alenazi et al., 2024).

آهن یک عنصر ضروری و کم‌مصرف برای موجودات زنده است که برای رشد گیاهان زراعی و باغی ضروری است و در تشکیل ریشه گیاهان نقش بسزایی دارد. این عنصر به اشکال مختلف معدنی در خاک وجود دارد. عنصر آهن جزء اصلی ساختار آنزیم‌های مختلف و برخی رنگ‌دانه‌ها است و در فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان مانند فتوسنتز، تنفس سلولی، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تشکیل آنزیم کاربرد دارند (Mozafari et al., 2023).

گیاه کاملینا از تیره کلمیان Brassicaceae، گیاهی گل‌دار و با چرخه رشد یک‌ساله است. کاملینا بومی اروپا و آسیای جنوبی است و سابقه کشت و کار آن به ۴۰۰۰ سال پیش برمی‌گردد . در زمان روم و یونان باستان کشت این گیاه به عنوان یک گیاه روغنی توسعه یافت (Sydor et al., 2022). قبل از سال ۲۰۰۵، کاملینا یک گیاه تجاری محسوب نمی‌شد، اما با شناخت اسیدهای چرب موجود در این گیاه، کشت آن افزایش یافت (Teimoori et al., 2023). در این پژوهش به‌منظور بالا بردن تحمل گیاه کاملینا به تنش شوری اثر محرک‌هایی همچون کیتوزان و آهن در جهت بهبود رشد و تغییر محتوای برخی از یون‌ها جهت کاهش اثرات ناشی از تنش استفاده گردید.

## مواد و روش‌ها

برای مطالعه اثر تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کاملینا، آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار طراحی شد. بذرهای گیاه کاملینا رقم سهیل از مراکز تحقیقاتی کرمانشاه (دانشگاه رازی) تهیه شد و کشت بذرها در گلدان‌های حاوی خاک تنظیم‌شده (نسبت ۱ به ۱ ماسه و خاک باغچه) در گلخانه فیزیولوژی گیاهی واقع در دانشگاه خوارزمی کرج در سال ۱۴۰۲ انجام شد. کاشت به‌منظور کنترل یون‌ها در محیط کشت آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر انجام شد و در هر نوبت آبیاری، به‌اندازه ظرفیت زراعی گلدان به گیاهان آب‌داده شد. شرایط گلخانه‌ای شامل دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۵٪ و نور طبیعی خورشید به‌علاوه نور مهتابی و لامپ‌های ۱۰۰ وات با دوره ۱۱ ساعت تاریکی و ۱۳ ساعت روشنایی کنترل می‌شد و آبیاری با آب مقطر بر اساس ظرفیت زراعی انجام شد. پس از بیست روز از کاشت بذرها گیاه به مرحله چهار برگی می‌رسد که در طی این مدت فقط آبیاری با آب مقطر انجام شد. پس‌ازآن تا مرحله ۲۰ برگی گیاهان تحت تنش شوری با محلول کلرید سدیم خالص در سه سطح غلظت ۰، ۸، ۱۲ دسی زیمنس بر متر معادل ۰، ۵/۱۲، ۷/۶ گرم بر لیتر آبیاری گردید لازم به یادآوری است چنانچه که تبادل الکتریکی (EC) برحسب دسی زیمنس بر متر باشد با استفاده از فرمول زیر غلظت مولار نمک‌ها محاسبه شد ($C_{ppm}$ = 640* EC (ds/m)). تیمار آهن (Fe-EDTA)، تهیه‌شده از شرکت دیپوفر، همراه با آب آبیاری در سه سطح ۰، ۳، ۶ گرم بر لیتر هفته‌ای یک‌بار تا



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

اواخر مرحله رویشی اعمال شد. تیمار کیتوزان به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌ها در سه سطح ۰، ۰/۲، ۰/۴ گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار شوری با فاصله زمانی اعمال شد. سه ماه پس از کاشت گیاهان (BBCH 90) و بعد از پایان تیمارها، ریشه و اندام هوایی جهت بررسی برداشته شدند. طول ساقه از طوقه تا قسمت انتهایی و طول ریشه از طوقه تا نوک ریشه برحسب سانتی‌متر و با استفاده از خط کش معمولی اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه:** جهت محاسبه وزن خشک نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد سپس وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه، بر حسب گرم با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری سطح برگ:** جهت محاسبه سطح برگ گیاهان از هر گلدان به‌طور تصادفی یک گیاه انتخاب شد هر تیمار شامل سه تکرار است پس برای هر تیمار سه گیاه به‌طوری تصادفی انتخاب‌شد و با جداسازی برگ‌ها از ساقه و قرار دادن آن‌ها بر روی کاغذ شطرنجی میلی‌متری مساحت هریک از برگ‌ها برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری بیومس (زیست توده گیاهی):** جهت اندازه‌گیری بیومس گیاهان به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار می‌گیرند و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری می‌شود. از طرفی مساحت هر گلدان با توجه به شعاع ۱۰/۵ سانتی‌متری و فرمول مساحت دایره ($A = \pi r^2$) برابر شد با ۳۴۶/۱۸۵ سانتی‌متر مربع. حال با تقسیم وزن خشک گیاه بر مساحت هر گلدان، بیومس هر گلدان محاسبه می‌شود.

(DW: وزن خشک ، π: ۱۴/۳، شعاع r : ۱۰/۵ سانتی‌متر )

$$Biomass=DW/\pi r^2$$

**اندازه‌گیری محتوای نسبی آب:** برای تعیین محتوای نسبی آب (RWC)، برگ‌های جداشده از گیاهان بلافاصله برای تعیین وزن‌تر (FW) وزن شدند، سپس برگ‌ها در آب مقطر درون پتری دیش به مدت ۶ ساعت در تاریکی برای ایجاد تورژسانس کامل شناور شدند. سپس رطوبت سطح برگ‌ها توسط دستمال‌کاغذی گرفته شد و پس از تعیین وزن در تورژسانس کامل (TW)، نمونه‌ها ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای محاسبه‌ی وزن خشک (DW) قرار گرفتند (Yamasaki & Dillenburg, 1999).

$$RWC\ (\%) = [(FW-DW)/(TW-DW)]*100$$

**سنجش قندهای محلول:** به‌منظور سنجش قندهای محلول از روش فنل‌اسیدسولفوریک استفاده شد. ۰/۲ گرم از برگ‌های خشک‌شده گیاهان در ۳ میلی‌لیتر آب مقطر عصاره‌گیری شد و محلول همگن حاصل به کمک صافی صاف گردید، سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول حاصل را با ۰/۵ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد ترکیب شد، بلافاصله پس از افزودن اسید سولفوریک یک واکنش گرمازا همراه با تولید رنگ نارنجی شکل می‌گیرد که با تولید حرارت زیاد همراه است، لذا بعد از افزودن اسید، مخلوط واکنش ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵-۲۷ درجه سانتی‌گراد برای خنک شدن نگه‌داری می‌شود، پس از آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذب هر یک از نمونه‌ها در طول‌موج ۴۹۰ نانومتر قرائت شد (Dubois et al., 1956).

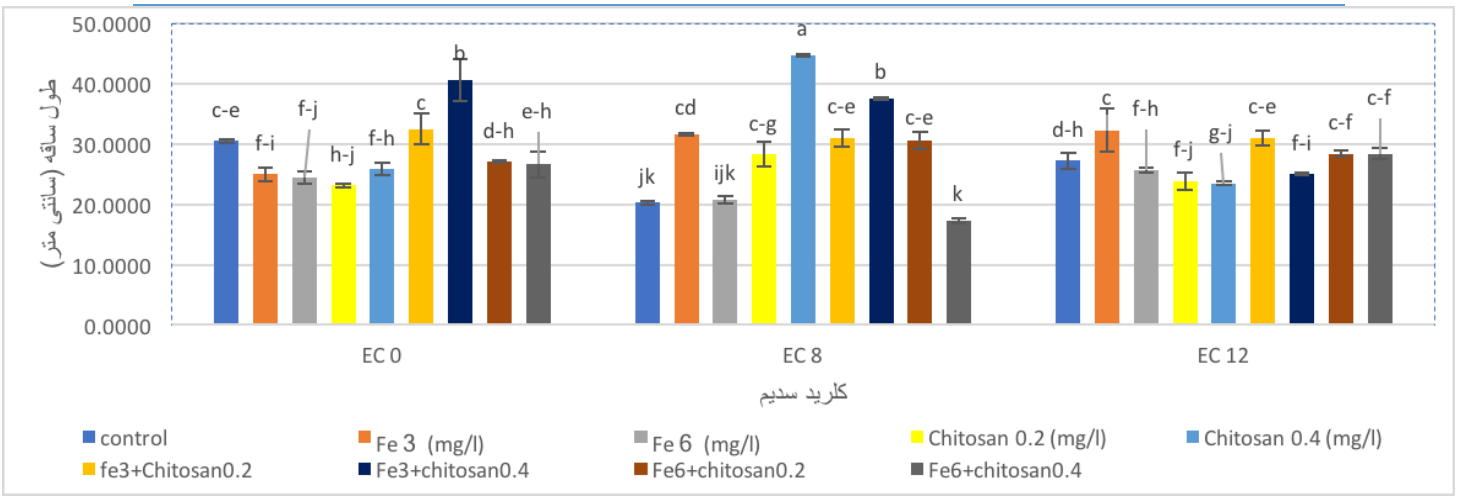
**سنجش میزان یون‌های سدیم، پتاسیم، آهن، کلسیم، به روش هضم اسیدی و جذب دستگاه ICP:** به‌منظور سنجش میزان یون‌های سدیم، پتاسیم، آهن، کلسیم، ۰/۲ گرم وزن خشک گیاه در هاون سائیده و پودر شد. سپس محتویات آسیاب شده را در ۴ میلی‌لیتر محلول تیز آب (۱ واحد اسید نیتریک ۶۵ درصد بعلاوه ۳ واحد اسیدکلریدریک ۳۷ درصد) به‌منظور هضم اسیدی ریخته شد. مقدار استفاده از تیزاب باید به‌گونه‌ای باشد که محتویات پودر شده در تیزاب غوطه‌ور شوند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تیزاب هضم اسیدی شدند. سپس محلول را از صافی عبور داده و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و با دستگاه ICP مدل Spectro A RCOS جذب اتمی عناصر Fe، K، Na، Ca بر حسب ppm خوانده شد (Zheljazkov & Nielsen, 1996).

## نتایج

**طول ساقه:** نتایج حاصل از بررسی داده‌ها نشان داد که طول ساقه در سطح ۸ دسی زیمنس بر متر کاهش معنی‌دار در مقایسه با شاهد داشته و در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری در مقایسه با شاهد نداشته است (شکل ۱). در شرایط بدون تنش طول ساقه فقط در مواردی همچون تیمار آهن ۶ و ۳، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری داشته است. در تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر طول ساقه افزایش معنی‌دار داشته و در مابقی موارد تیمارها تغییر معنی‌داری مشاهده نشده است (شکل ۱). در شرایط تنش در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر تیمار آهن ۶ و تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر اثر معنی‌داری بر طول ساقه نداشت ولی روند افزایشی در سایر تیمارها مشاهده‌شده است (شکل ۱). در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تیمار آهن ۳ گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار طول ساقه در مقایسه با شرایط تنش شده است، اما بقیه تیمارها فاقد تغییرات معنی‌دار هستند (شکل ۱).



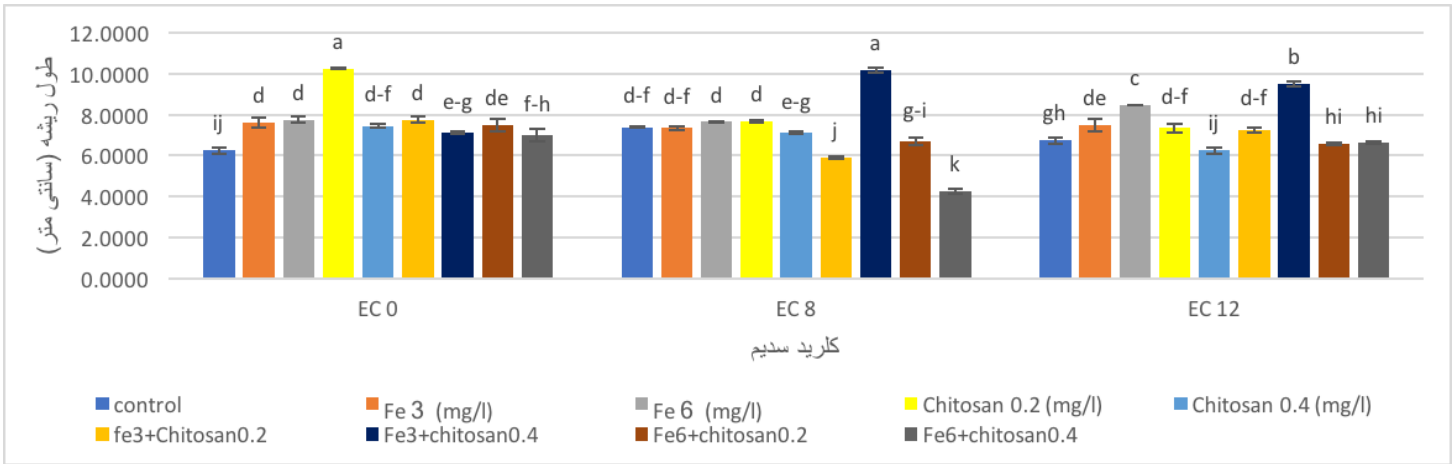
[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]




**شکل ۱**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر طول ساقه

Figure 1. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on shoot length

**طول ریشه:** نتایج نشان داد که طول ریشه در سطح شوری ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار داشته است. در شرایط بدون تنش تیمار کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر لیتر، آهن ۳ و ۶ گرم بر لیتر و تیمار همزمان آهن و کیتوزان باعث افزایش طول ریشه شده است (شکل ۲). در شرایط تنش در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه در مقایسه با شرایط تنش شده است که تیمارهای توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند و این در حالی است که تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) فاقد تغییرات معنی‌دار بوده‌اند (شکل ۲).




**شکل ۲**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر طول ریشه

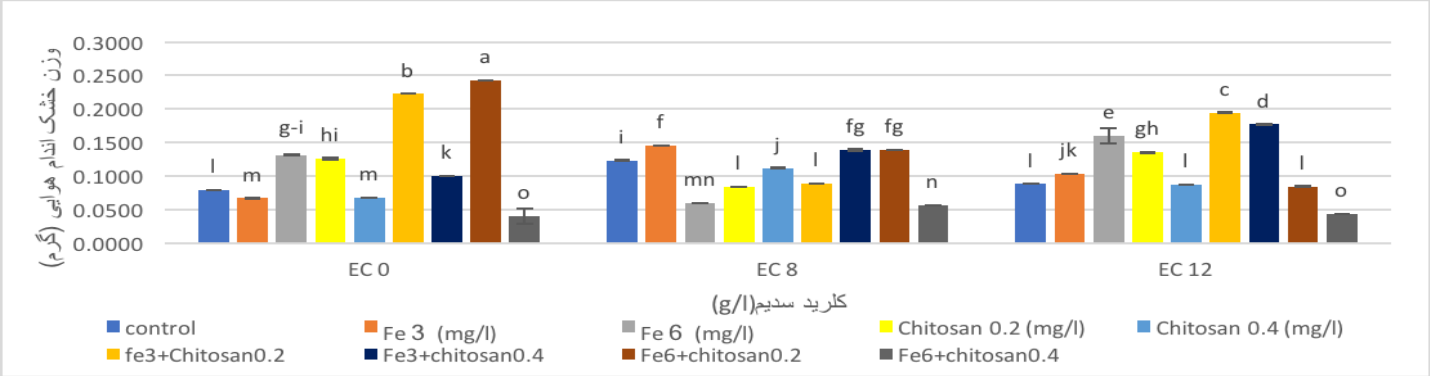
Figure 2. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on root length

**وزن خشک اندام هوایی:** نتایج نشان داد که وزن خشک اندام هوایی در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر افزایش و در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری در مقایسه با شاهد نداشته است (شکل ۳). بررسی نمودار نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش وزن خشک اندام هوایی در غلظت ۳ گرم در لیتر کود آهن در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری داشته است و آهن ۰/۴ باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است. همچنین غلظت ۰/۴ گرم بر لیتر کیتوزان باعث کاهش و غلظت ۰/۲ گرم بر لیتر آن منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد شده است. تیمار همزمان (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) و تیمار همزمان آهن و کیتوزان (آهن ۶ و کیتوزان ۰/۲) باعث افزایش وزن



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

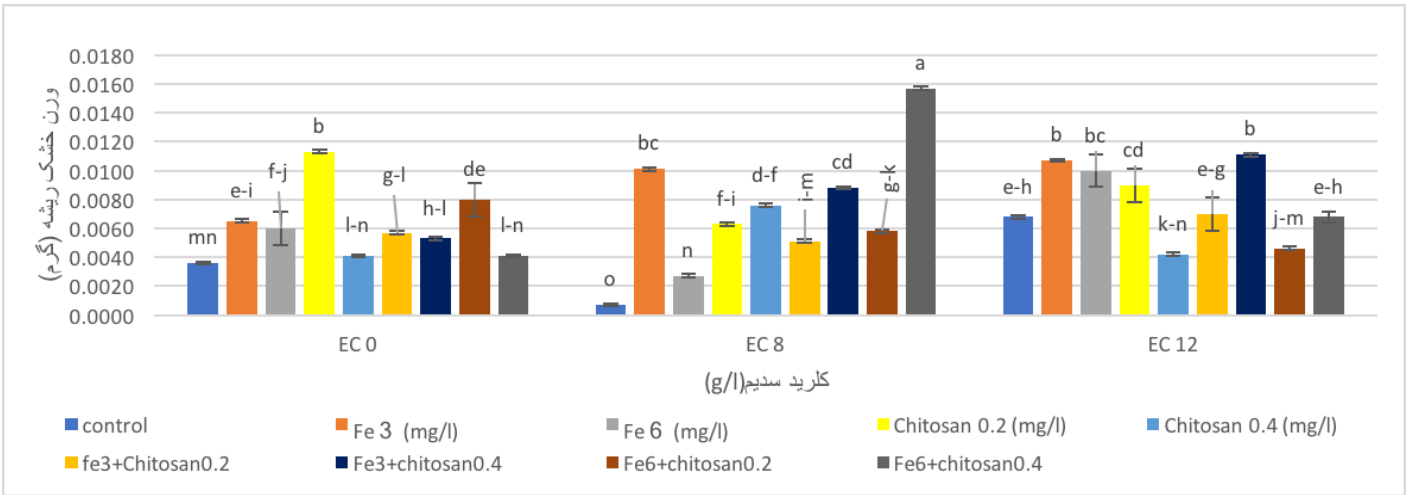
خشک اندام هوایی ولی تیمار همزمان آهن و کیتوزان (آهن ۶ و کیتوزان ۰/۴) وزن خشک اندام هوایی را کاهش داده است (شکل ۳). در شرایط تنش در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، تیمار آهن ۳، تیمار همزمان آهن و کیتوزان (آهن ۳ و کیتوزان ۰/۴) و (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط تنش شده است. این در حالی است که تیمار آهن ۶، کیتوزان (۰/۲ و ۰/۴) و تیمار همزمان آهن و کیتوزان (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط تنش شده است. در سطح ۱۲ دسی زیمنس بر متر تیمار توأم (کیتوزان ۰/۴، آهن ۶ ) گرم بر لیتر باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط تنش شده است؛ اما تیمارهای آهن ۳ و ۶ گرم بر لیتر و کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر و تیمارهای توأم (کیتوزان ۰/۲، آهن ۳ ) گرم بر لیتر و تیمار توأم (کیتوزان ۰/۴، آهن ۳) باعث افزایش معنی‌دار و چشم‌گیر وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند (شکل ۳).




**شکل ۳**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 3. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on shoot dry weight

**وزن خشک‌ریشه:** بررسی نتایج نشان داد که وزن خشک‌ریشه در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر کاهش و در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر افزایش معنی‌دار در مقایسه با شاهد داشته است (شکل ۴). در شرایط بدون تنش وزن خشک‌ریشه در اعمال تیمار ۰/۲ گرم بر لیتر کیتوزان، آهن ۳ و ۶ گرم بر لیتر، تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) و تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) باعث افزایش معنی‌دار در وزن خشک‌ریشه در مقایسه با نمونه شاهد شده است؛ و این در حالی است که غلظت ۰/۴ گرم بر لیتر تیمار کیتوزان و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر تغییر معنی‌داری ایجاد نکرده است (شکل ۴). در شرایط تنش در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر همه تیمارها اعم از آهن، کیتوزان و تیمار همزمان آن‌ها باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک‌ریشه را در مقایسه با شرایط تنش شده است (شکل ۴). در شرایط تنش در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تنها تیمار کیتوزان ۰/۴ گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر باعث کاهش وزن خشک ریشه شده است. تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) بر وزن خشک ریشه اثر معنی‌داری نداشته است. مابقی تیمارها روند افزایش را نشان داده است (شکل ۴).



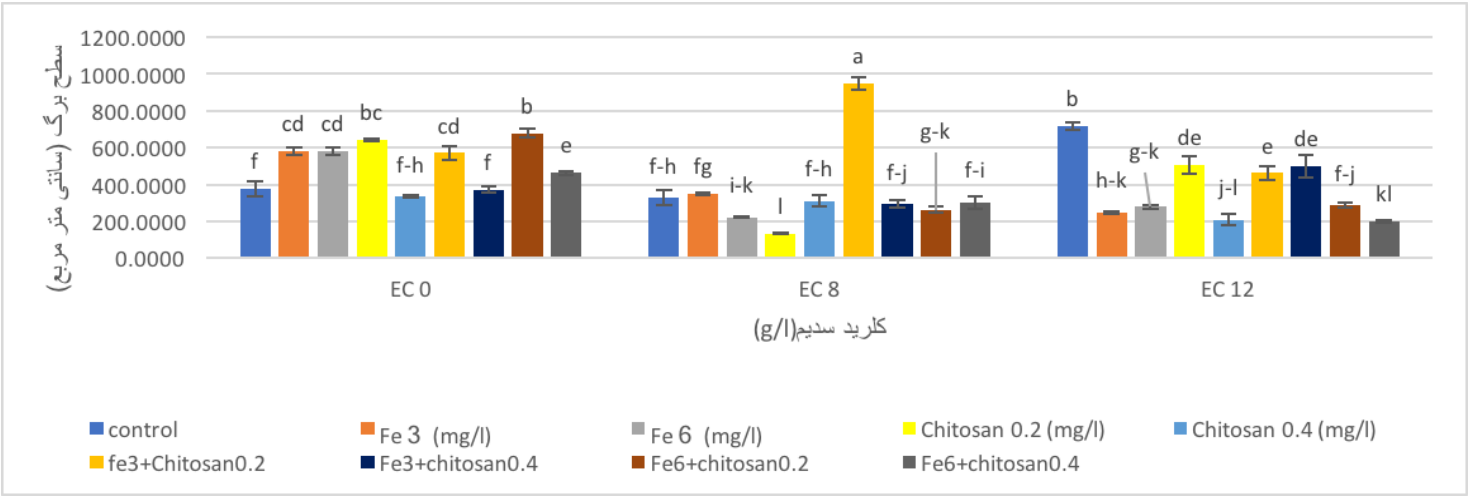

**شکل ۴**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر وزن خشک‌ریشه

Figure 4. Effect of salinity stress and chitosan and Iron root dry weight



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

**سطح برگ:** نتایج نشان داد که سطح برگ در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر بدون تغییر و در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشته است. در شرایط بدون تنش سطح برگ در اثر اعمال تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار داشته است. مابقی تیمارهای آهن و کیتوزان در این شرایط فاقد تغییرات معنی‌دار بودند. در شرایط تنش در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، تیمار کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ در مقایسه با شرایط تنش شده است. تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر باعث افزایش سطح برگ در شرایط تنش شده است. مابقی تیمارها در این شرایط شوری فاقد تغییرات معنی‌دار هستند. در شرایط تنش در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تمامی تیمارها باعث کاهش سطح برگ شده است (شکل ۵).



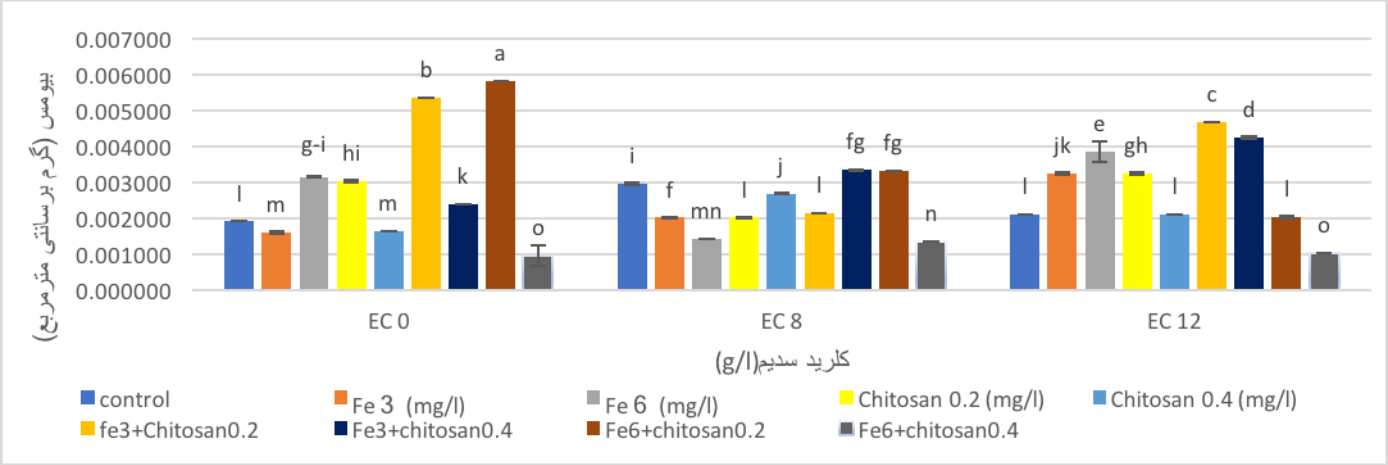

**شکل ۵**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر سطح برگ

Figure 5. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on leaf area

**بیومس:** نتایج حاصل از بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که بیومس (توده زیستی گیاه) در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد افزایش و در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد تغییرات معنی‌داری ثبت نکرده است (شکل ۶). در شرایط بدون تنش بیومس در اثر تیمار کیتوزان ۰/۴ گرم بر لیتر، آهن ۳ و توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری داشته است و تیمارهای توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر و (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲) باعث افزایش معنی‌دار بیومس در مقایسه با شاهد شده است و این در حالی است که باقی تیمارها فاقد تغییرات معنی‌دار هستند (شکل ۶). در شرایط تنش در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر تیمار همزمان (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) و (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر باعث افزایش سطح برگ شده است. این در حالی است که سایر تیمارها روند کاهشی داشته است (شکل ۶). در شرایط تنش در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس تیمارهای آهن ۳ و ۶ گرم بر لیتر، کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر، تیمارهای توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) گرم بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار بیومس در مقایسه با شرایط شوری شده است. کیتوزان ۰/۴ گرم بر لیتر و تیمارهای توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر بر بیومس اثر معنی‌داری نداشته است. تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر باعث کاهش بیومس شده است (شکل ۶).



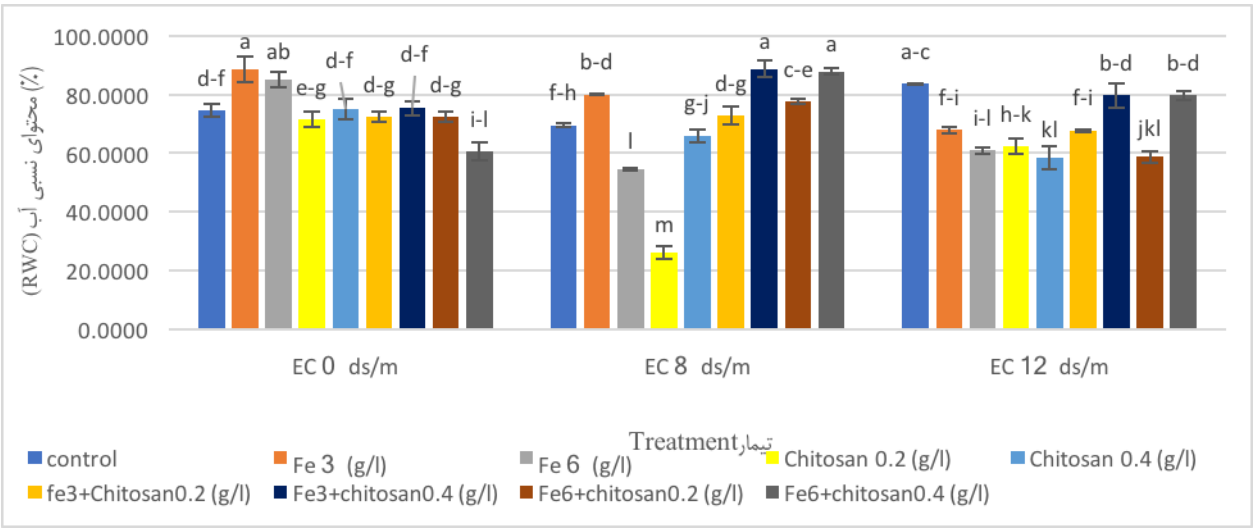
[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]




**شکل ۶**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر بیومس

Figure 6. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on biomass

**محتوای نسبی آب**: بررسی نمودار ۷ نشان داد که محتوای نسبی آب در سطح شوری ۸ دسی زیمنس برگ‌تر در مقایسه با شاهد بدون تغییر بوده و در سطح ۱۲ دسی زیمنس برگ‌تر افزایش معنی‌دار در مقایسه با شاهد داشته است. در شرایط بدون تنش تیمارهای آهن ۳ و ۶ گرم بر لیتر منجر به افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گیاه و تیمار همزمان (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر باعث کاهش آن شده است و مابقی تیمارها فاقد اثر معنی‌دار بوده‌اند. در شرایط تنش در سطح شوری ۸ دسی زیمنس برگ‌تر تیمار آهن ۶ گرم بر لیتر و تیمار کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر باعث کاهش و تیمار آهن ۳ گرم بر لیتر و تیمار کیتوزان ۰/۴ گرم بر لیتر باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند و تیمارهای توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴ و ۰/۲) گرم بر لیتر باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند. در شرایط تنش در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تیمارهای توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر باعث حفظ محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند. مابقی تیمارها کاهش معنی‌دار داشته‌اند (شکل ۷).




**شکل ۷**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر محتوای نسبی آب

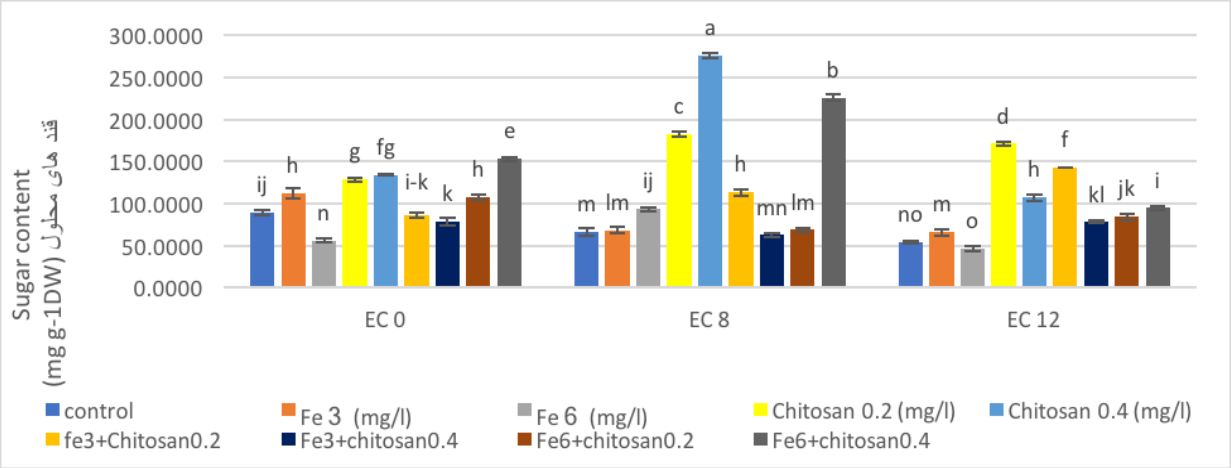
Figure 7. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on RWC

**محتوای قندهای محلول:** تیمار شوری باعث کاهش محتوای قند محلول شده است. در شرایط بدون تنش که میزان قند محلول در اعمال تیمار آهن ۶ گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار در مقایسه با شاهد شده است. در شرایط مذکور کیتوزان باعث افزایش محتوای کربوهیدرات برگ شده است. اثر متقابل (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴ و ۰/۲) باعث کاهش و (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴ و ۰/۲) گرم بر لیتر باعث افزایش قند برگ شده است. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

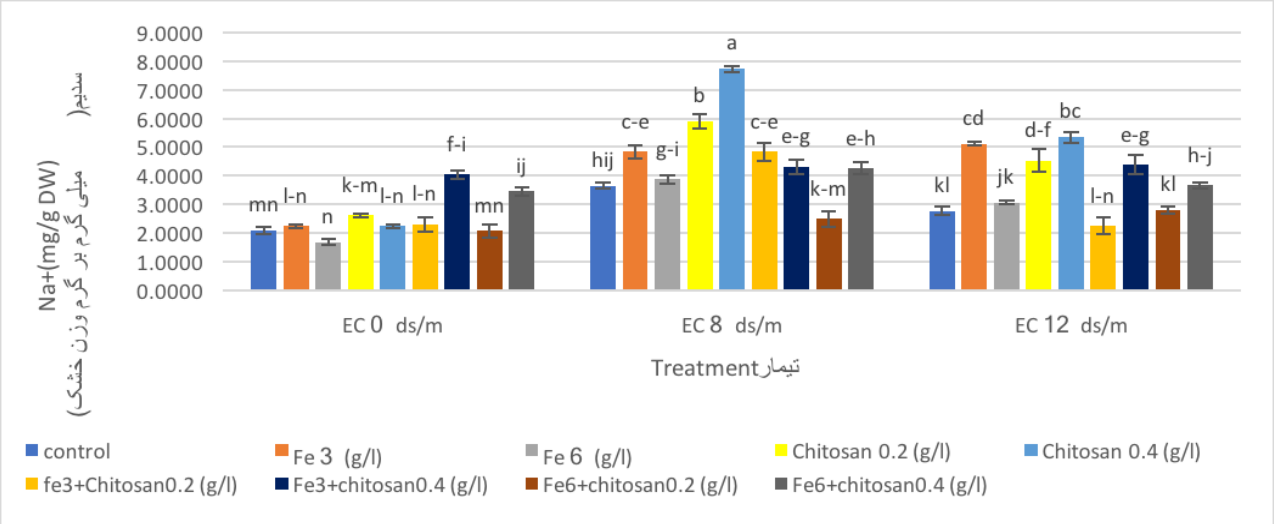
نشان داد که اعمال تیمارهای آهن ۰/۶، (کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) و تیمار توأم (آهن ۶ و کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر باعث افزایش قند محلول شده است. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر نشان داد که اعمال تیمارهای مختلف آهن و کیتوزان موجب افزایش معنی‌دار میزان قندهای محلول در مقایسه با شرایط تنش شده که بیشترین تغییر را تیمار کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است که آهن ۶ گرم بر لیتر تأثیر معنی‌دار بر محتوای قند نداشته است (شکل ۸).




**شکل ۸**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر قند

Figure 8. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on sugar

**یون سدیم:** نمودار حاصل از بررسی داده‌ها نشان داد که میزان یون سدیم با افزایش شدت تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار پیداکرده است. نتایج حاصل از بررسی داده‌ها نشان داد که میزان یون سدیم در شرایط بدون تنش در تیمارهای توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر افزایش داشته است در حالی است که در سایر تیمارها تغییر معنی‌داری مشاهده نشده است. در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر ، اعمال تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر موجب کاهش یون سدیم در مقایسه با شرایط تنش شده ولی در تیمار آهن ۶ گرم بر لیتر و اعمال تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری نداشته و مابقی تیمارها موجب افزایش یون سدیم در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند. بررسی‌ها در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر نشان داد که اعمال تیمار آهن ۳ گرم بر لیتر، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر لیتر، توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) و (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر سبب افزایش میزان یون سدیم در مقایسه با شرایط تنش شده است. در مابقی تیمارها تغییر محسوسی مشاهده نشده است (شکل ۹).



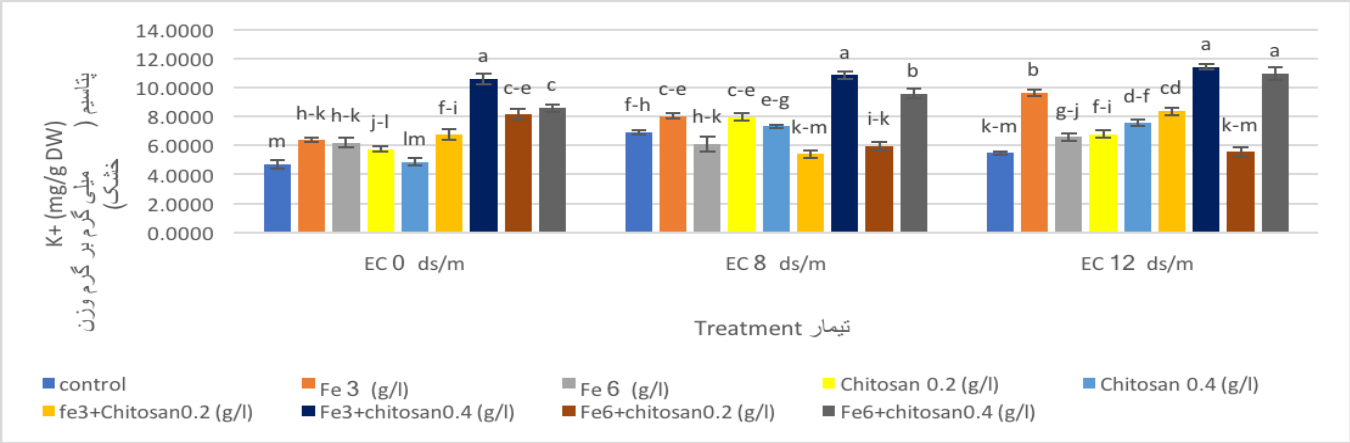

**شکل ۹**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر یون سدیم

Figure 9. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on sodium



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

**یون پتاسیم:** بررسی داده‌ها نشان داد که میزان یون پتاسیم در پی اعمال تنش شوری ۸ دسی زیمنس در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار یافته ولی در شوری ۱۲ دسی زیمنس تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده نشده است. در شرایط بدون تنش تنها کیتوزان ۰/۴ گرم بر لیتر بر پتاسیم برگ بدون تأثیر بوده است. درصورتی‌که سایر تیمارها روند افزایشی را نشان می‌دهند. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر نشان داد که اعمال تیمارها موجب افزایش معنی‌دار یون پتاسیم در مقایسه با شرایط تنش شده ولی آهن ۶ گرم بر لیتر، (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر و تیمار (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر موجب کاهش یون پتاسیم در مقایسه با شرایط تنش شده است. به‌طوری‌که اعمال تیمارهای آهن ۳ گرم بر لیتر و کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار یون پتاسیم در مقایسه با شرایط تنش شده است؛ تیمارهای آهن ۶ گرم بر لیتر، (آهن ۳، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر و تیمار (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر موجب کاهش یون پتاسیم در مقایسه با شرایط تنش شده است. کیتوزان ۰/۴ گرم بر لیتر بر پتاسیم برگ بی‌تأثیر بوده و سایر تیمارها افزایش پتاسیم برگ را نشان داده است. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس برگ‌تر نشان داد که اعمال تمامی تیمارها موجب افزایش میزان یون پتاسیم در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند به‌طوری‌که بیشترین افزایش پتاسیم را تیمار (آهن ۳، کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و تیمار (آهن ۶ و کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و آهن ۳ گرم بر لیتر به خود اختصاص داده‌اند. تیمار (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر تأثیری بر پارامتر مذکور نداشته است (شکل ۱۰).



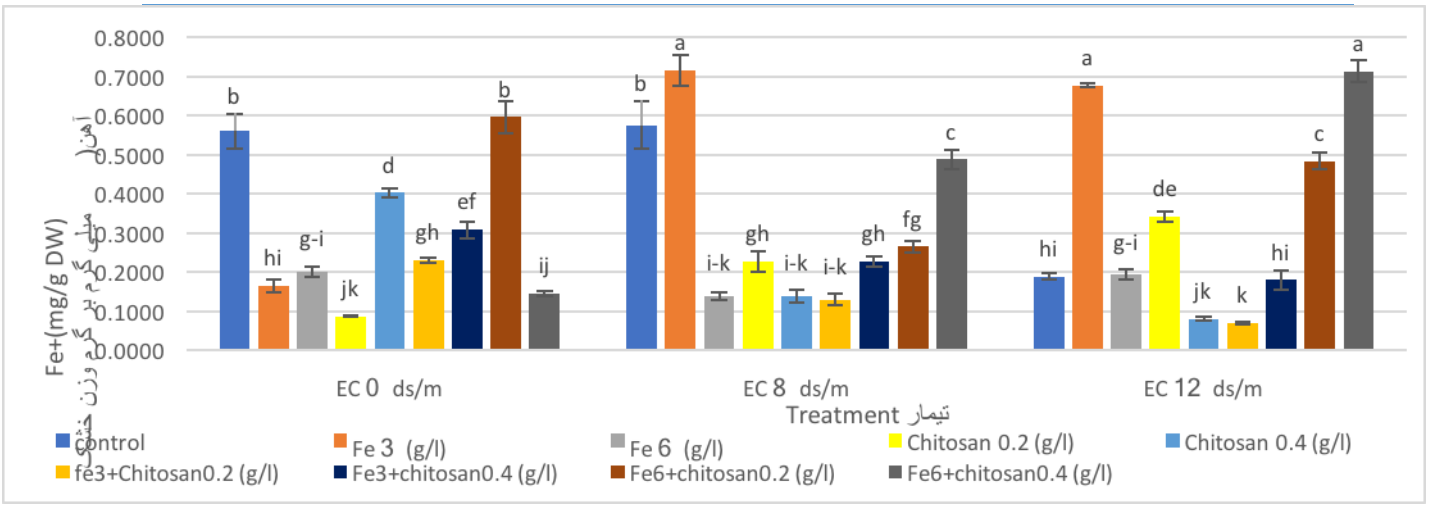

**شکل ۱۰**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر یون پتاسیم

Figure 10. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on potassium

**یون آهن:** داده‌ها نشان می‌دهد که میزان یون آهن در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد افزایش‌یافته است. در شرایط بدون تنش اعمال تمامی تیمارها به‌جز (آهن ۶ کیتوزان ۰/۲) گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار یون آهن در مقایسه با شاهد شده است. به‌طوری‌که بیشترین کاهش را تیمار کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر به خود اختصاص داده است. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر نشان داد که آهن ۳ گرم بر لیتر باعث افزایش یون آهن برگ شده ولی سایر تیمارها باعث کاهش معنی‌داری پارامتر مذکور شده است. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر نشان دادند که اعمال تیمارهای آهن ۳ گرم بر لیتر، کیتوزان ۰/۲ گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۶، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴) موجب افزایش معنی‌دار یون آهن در مقایسه با شرایط تنش شده است. سایر تیمارها باعث کاهش معنی‌دار آهن برگ در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند (شکل ۱۱).



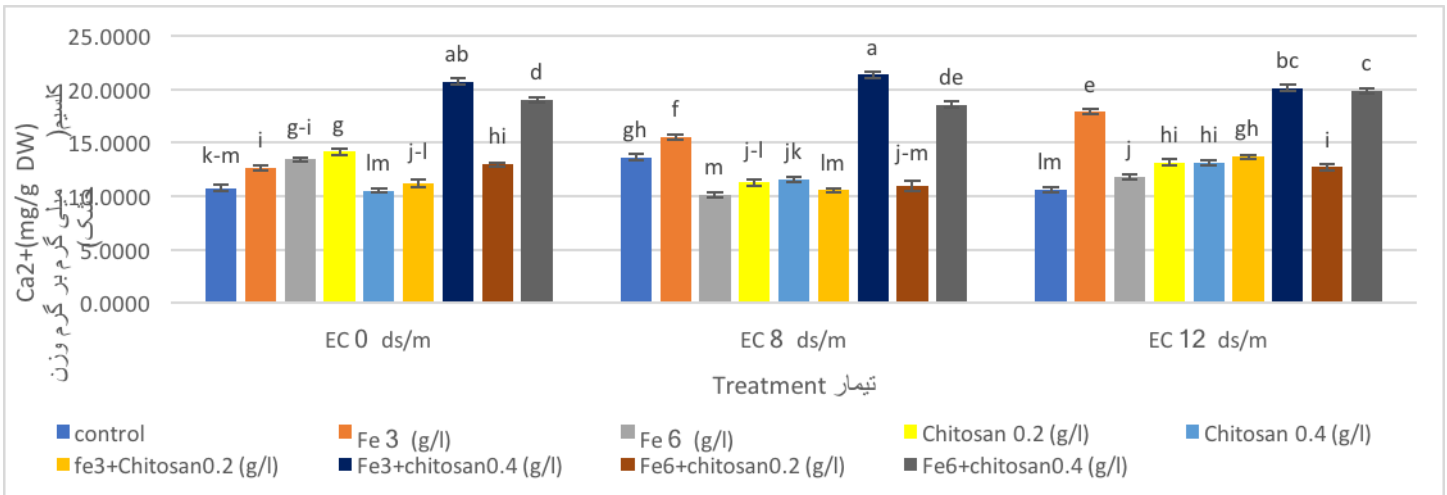
[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]




**شکل ۱۱**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر یون آهن

Figure 11. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on Iron

**یون کلسیم** : بررسی نمودار داده‌ها نشان می‌دهد که میزان یون کلسیم با افزایش شدت تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش کمی را در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر تجربه کرده ولی در شوری ۱۲ دسی زیمنس با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشته است. نتایج حاصل از بررسی داده‌ها نشان داد که اعمال تیمارها سبب افزایش یون کلسیم گیاه کاملینا در مقایسه با شاهد شده است و بیشترین افزایش را تیمارهای توأم (آهن ۳ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۶ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر به ثبت رسانده‌اند. بررسی‌های نتایج در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر نشان داد که تیمارهای آهن ۳ گرم بر لیتر و (آهن ۳ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و (آهن ۶ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند بررسی نتایج در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر نشان داد که تمامی تیمارها موجب افزایش یون کلسیم در مقایسه با شرایط تنش شده‌اند به‌طوری‌که بیشترین افزایش را تیمارهای آهن ۳ گرم بر لیتر و تیمار توأم (آهن ۳ کیتوزان ۰/۴) و (آهن ۶ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۱۲).




**شکل ۱۲**- اثر غلظت‌های مختلف تنش شوری و تیمارهای کیتوزان و آهن بر یون کلسیم

Figure 12. Effect of salinity stress and chitosan and Iron on calcium

## بحث و نتیجه‌گیری

**پارامترهای رشد:** در این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری بر پارامترهای رشد در گیاه کاملینا نشان داد که طول ریشه، بیومس و وزن تر اندام هوایی در سطح ۸ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد افزایش پیداکرده است. این در حالی است که کاهش طول ساقه، وزن خشک ریشه در شوری نامبرده کاهش داشته است. در سطح ۱۲ دسی زیمنس بر متر طول ریشه، وزن خشک ریشه، سطح برگ و محتوای نسبی آب افزایش داشته است. قلی‌نژاد و همکاران کاهش شاخص‌های رشد را در پی افزایش تنش شوری در گیاه کاملینا مشاهده کردند (Gholinezhad et al., 2024). کاهش طول ساقه به دلیل کاهش تقسیم سلول و یا رشد و طویل شدن



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

سلولی می‌باشد. علاوه بر عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و کمبود آب، استرس اسمزی ناشی از نمک‌های اضافی، گسترش سلولی و رشد کلی گیاه را کاهش می‌دهد که این حالت در گندم (Zafar et al., 2024) و *Pennisetum glaucum* L. (Rashid et al., 2024) گزارش شده است. در شرایط تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، حجم آب قابل دسترس کاهش پیدا کرده و افزایش فشار اسمزی خاک، سبب کمبود آب برای گیاه می‌شود، لذا رشد ریشه در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد. این حالت در ذرت گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (Liu et al., 2022). از دیگر دلایل کاهش رشد گیاهان در شرایط تنش شوری می‌توان به پیامدهایی که بعد از به هم خوردن تعادل یونی در این شرایط ایجاد می‌شود اشاره کرد. در شرایط شوری جذب $Na^+$ با جذب عناصر دیگر به‌ویژه $K^+$ رقابت دارد که این امر موجب کاهش $K^+$ می‌شود. کاهش جذب پتاسیم می‌تواند کاهش رشد و بهره‌وری گیاه را در شرایط تنش شوری سبب شود. گیاهان حرکت آزاد سدیم در سیتوزل را به کمک اندامک واکوئل کنترل می‌کنند تا اثر سدیم را در فعالیت منظم آنزیم‌های سیتوزولی خنثی کنند (Shahid et al., 2020). در شوری ۱۲ دسی زیمنس علت افزایش طول ریشه و وزن خشک ریشه را می‌توان به این علت دانست که در شرایط کمبود آب، رشد ریشه زیاد شده تا بیشتر به سمت عمق حرکت کند و آب بیشتری به دست آورد. نفوذ عمیق ریشه‌ها، کافی بودن تراکم ریشه در خاک، هدایت و انتقال کافی آب در ریشه بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تحت تنش ۱۲ دسی زیمنس افزایش داشته است. بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در گیاهان متحمل به تنش می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب بوده که باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود، از طرفی با افزایش رشد ریشه و جذب بیشتر آب از طریق ریشه میزان محتوای نسبی آب افزایش می‌یابد (Soori et al., 2019). در پژوهش حاضر آهن در شرایط تنش شوری بالا توانسته اثر مثبتی بر طول ریشه، طول ساقه، بیومس، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه داشته است. تأثیر کود دهی آهن به جنس و گونه گیاهی، نوع خاک، نوع آبیاری، شرایط کاشت اعم از مزرعه یا گلدان، شرایط اقلیمی و سطح آهن بستگی دارد. با توجه به این‌که عنصر آهن در تشکیل کلروفیل نقش دارد پس در افزایش میزان کلروفیل و بهبود فتوسنتز و درنتیجه بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش نقش مؤثری دارد. این افزایش رشد در تیمار گیاه (*Cucumis melo*) با نانو ذرات آهن نیز مشاهده شده است. این ترکیب منجر به افزایش سرعت فتوسنتز، افزایش سرعت جذب $CO_2$ و افزایش غلظت $CO_2$داخل سلولی، افزایش باز شدن روزنه و افزایش جذب فسفر می‌گردد که به طور مستقیم در افزایش رشد گیاهان تأثیرگذار هستند (Wang et al., 2019). آهن می‌تواند در جذب و انتقال مواد در گیاهان نقش مؤثری داشته و به عنوان منبع آهن از سنتز کلروفیل پشتیبانی می‌کنند (Al-Amri et al., 2020). در تیمار همزمان آهن و شوری ۸ دسی زیمنس بر متر محتوای نسبی آب افزایش داشته است. لازم به یادآوری است که غلظت‌های بالای نانو ذرات آهن باعث اثرات معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ در گیاه سرخارگل (Khorasaninejad et al., 2020) شده که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی داشته است در پژوهش حاضر کیتوزان توانسته در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، طول ساقه و وزن خشک ریشه را افزایش دهد. البته اثرات کاهشی نیز بر وزن خشک ساقه، بیومس، محتوای نسبی و سطح برگ داشته است. به نظر می‌رسد در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کیتوزان توانسته اثراتی مثبتی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، بیومس، طول ریشه داشته باشد. افزایش رشد در تیمار همزمان شوری و کیتوزان در گیاه خرفه نیز مشاهده شده است که با نتایج حاصل از این تحقیق همسو می‌باشد. کیتوزان ممکن است رشد و نمو گیاه را از طریق سنتز هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و جیبرلین افزایش دهد. از آنجایی که افزایش رشد ریشه در واقع افزایش در جذب آب و مواد غذایی است، به نظر می‌آید در شرایط تنش شوری، گیاهان تیمار شده با کیتوزان توانستند از اثرات مخرب شوری بر رشد و گسترش ریشه جلوگیری کنند (Khosravi et al., 2021). افزایش محتوای نسبی آب در تیمار با کیتوزان در تنش شوری در گوجه‌فرنگی (Demehin et al., 2024) مشاهده شده است که با نتایج این تحقیق همسو نبوده است. در این تحقیق تیمار آهن و کیتوزان توانسته در سطح شوری ملایم طول ساقه، محتوای نسبی آب و وزن خشک ریشه را افزایش داده است. در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر تیمار آهن و کیتوزان، توانسته اثرات معنی‌دار افزایشی و کاهشی بر سایر پارامترهای رشد داشته است. گزارشی مبنی بر تیمار همزمان آهن و کیتوزان در تنش شوری وجود ندارد. علت این تغییرات مربوط به تأثیر همزمان آهن و کیتوزان در شرایط شوری به گونه‌ای باشد که آهن از یک سو، باعث افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد و افزایش سنتز کلروفیل در برگ‌های جوان می‌شود و درنتیجه فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه وارد می‌شود و درنهایت باعث رشد گیاه می‌شود؛ زیرا کمبود آهن باعث تخریب کلروپلاست شده و وجود آهن باعث سنتز کاروتنوئیدها در گیاه می‌شود که به حفظ ساختار کلروپلاست کمک می‌کند. از سوی دیگر کیتوزان با افزایش رنگیزه های فتوسنتزی (داده‌ها ارائه نشده است) و تأثیر آن بر افزایش بیوسنتز هورمون سیتوکینین در گیاه می‌باشد. از نگاهی



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

دیگر می‌توان به تأثیر بسیار سازنده محتوای نسبی آب را در شرایط نامبرده اشاره کرد که در شوری ملایم با حفظ آب سلول و گیاه توانسته باعث رشد گیاه شود.

**قندهای محلول:** در پژوهش حاضر با افزایش تنش شوری میزان قند محلول کاهش یافته است. سنتز قندها در شرایط تنش یکی از راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش شوری از طریق تنظیم اسمزی می‌باشد (Bakhoum et al., 2020) که این نتایج با این تحقیق مطابقت ندارد. علت آن را می‌توان به تأثیر کمرنگ قندهای محلول در شرایط تنش و تأثیر بیشتر سایر محلول‌های سازگار مرتبط باشد. در بررسی اثر تیمارهای آهن و کیتوزان مشاهده شد که اعمال غلظت کیتوزان۰/۴ گرم بر لیتر و بعضاً در حالت توأم با آهن۶ گرم بر لیتر موجب بیشترین میزان قند محلول در مقایسه با شاهد و شرایط تنش ۸ دسی زیمنس شده است. تیمار آهن باعث افزایش در قندها در سیب شده که با نتایج حاصل از این تحقیق همسو می‌باشد. علت این افزایش مربوط به تشکیل فرم‌های مختلف کربوهیدرات‌ها در بین بافت‌های گیاه سیب بوده که سپس به قندهای ویژه مانند گلوکز و ساکارز تبدیل شده است (Jahanshahi et al., 2021). در مطالعه حاضر افزایش قند برگ در تیمار با کیتوزان مشاهده شده است. علت این افزایش تأثیر کیتوزان بر تنظیم مسیرهای سنتز و تجزیه قندها می‌شود و از طریق تنظیم اسمزی موجب استفاده بهتر از آب در شرایط تنش و نهایتاً کاهش آثار منفی تنش می‌شود ( Demehin et al., 2024). در این تحقیق تیمار همزمان شوری، آهن و کیتوزان توانسته قند برگ را افزایش دهد. گزارشی مبنی بر تیمار همزمان آهن و کیتوزان در تنش شوری بر قند محلول وجود ندارد. علت این تغییر ممکن است به هم جهت بودن تأثیر آهن و کیتوزان مربوط باشد که هر دو بر تجزیه پلی ساکاریدها مؤثر بوده و توانسته قند محلول را افزایش دهد.

**یون سدیم و پتاسیم**: در بررسی گیاه کاملینا در تنش شوری مشاهده شده که شوری باعث افزایش سدیم برگ شده ولی افزایش پتاسیم برگ در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر مشاهده شده است. این افزایش در محتوای پتاسیم برگ در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده نشده است. در شرایط بدون شوری غلظت پایین سدیم و غلظت بالای پتاسیم در سیتوپلاسم برای حفظ فرایندهای آنزیمی در سیتوپلاسم می‌باشد (Sharavdorj et al., 2024). تنش شوری جذب سدیم را زیاد و مانع از جذب پتاسیم می‌شود در شرایط بدون تنش گیاهان مقادیر زیادی از پتاسیم و مقادیر اندکی از سدیم را در سیتوزول در جهت مقابله با این شرایط نگه می‌دارند ولی در تنش شوری جذب سدیم را زیاد و مانع از جذب پتاسیم می‌شود (Alenazi et al., 2024). در پژوهش حاضر با افزایش شوری یون‌های سدیم مشاهده شده که با اثر شوری بر یون سدیم در ذرت (Arif et al., 2020) مطابقت دارد. در این تحقیق در شوری ملایم پتاسیم برگ افزایش یافته است. این افزایش پتاسیم می‌تواند در جهت تعادل یونی در رقابت با سدیم و تعادل اسمزی باشد؛ که منجر به برهم خوردن تعادل یونی و نقص در جذب یون‌های مفید و اختلال در متابولیسم گیاه و در نهایت کاهش رشد می‌شود. در این تحقیق تیمار آهن در شوری ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر، باعث افزایش سدیم و پتاسیم برگ شده است. در برگ و ریشه ذرت پس از محلول‌پاشی نانوذرات اکسید آهن میزان یون پتاسیم افزایش یافته است. می‌توان در اینجا به نقش آهن در حفظ و تعادل یونی و هموستازی، اشاره کرد که یون آهن توانسته نسبت پتاسیم را در محیط نمک تنظیم کند ( Zia-ur-Rehman et al., 2023) . در بررسی نتایج حاصل از این پژوهش کیتوزان توانسته پتاسیم را در شوری ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر افزایش دهد ولی کیتوزان توانسته در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر مقدار سدیم برگ را کاهش دهد. یکی از نقش‌های کیتوزان در جلوگیری از اختلال در هموستازی یونی می‌باشد که نه تنها یون پتاسیم را در سلول افزایش می‌دهد بلکه می‌تواند غلظت یون سدیم را تیز کاهش دهد. این حالت در بابونه (Mazrou et al., 2021) و آویشن ( Bistgani et al., 2021) گزارش شده است که با نتایج ما همسو می‌باشد. در این تحقیق تیمار همزمان آهن و کیتوزان در شرایط شوری اثرات کاهشی و افزایشی نشان داده است. به طوری که تیمار دو تیمار توأم (آهن۳ کیتوزان ۰/۲) و (آهن۶ کیتوزان ۰/۲) توانسته سدیم برگ را کاهش دهد. از طرفی دو تیمار توأم (آهن۳ کیتوزان ۰/۴) و (آهن۶ کیتوزان۰/۴) گرم بر لیتر بیشترین یون‌های پتاسیم را داشته است. به نظر می‌رسد که آهن با همکاری کیتوزان در غلظت‌های نامبرده توانسته اثرات ناشی از تنش شوری را کم کند.

**یون آهن:** در این پژوهش عنصر آهن در پی افزایش تنش شوری، کاهش یافته است. برخی از محققان بر این باورند که غلظت آهن در تنش شوری در برگ کاهش یافته است و بیشترین میزان آهن در ریشه تجمع می‌یابد. افزایش غلظت آهن در ریشه نسبت به اندام هوایی ممکن است به علت تجمع این عنصر و حلالیت کم آن در آپوپلاست ریشه و عدم انتقال آن به اندام هوایی باشد (Mohammadi et al., 2019). شوری برجذب آهن گیاه در میان مواد مغذی دیگر تأثیر منفی می‌گذارد و این امر به دلیل pH بالا است که دسترسی آهن را برای گیاه کم می‌کند (Nikoosefat et al., 2023). در پژوهش حاضر، در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، افزایش یون آهن در تیمار با کیتوزان مشاهده شده است. این در حال است که در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر کاهش آهن برگ مشاهده شده است. در تیمار همزمان آهن و کیتوزان در شوری ۸ دسی



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

زیمنس بر متر، آهن برگ کاهش داشته و در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر ، آهن برگ افزایش داشته است. به نظر می‌رسد که کیتوزان در سطوح شوری مختلف اثرات متفاوتی بر غلظت آهن برگ داشته و این تأثیر را از طریق اثر بر انتقال یون مذکور نشان داده است. گزارشی مبنی بر تأثیر تیمارهای مذکور بر گیاهان مختلف وجود نداشت.

**یون کلسیم:** در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر میزان کلسیم کاهش می‌یابد این در حالی است که در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر سطح کلسیم برگ بدون تغییر مانده است؛ زیرا تحت شرایط تنش شوری، یون سدیم جایگزین یون کلسیم در دیواره سلولی می‌شود و از این طریق سبب اختلال در کارکرد دیواره سلولی و تمامیت غشای سلول می‌شود و رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علت این جایگزینی برابر بودن شعاع یون کلسیم و سدیم است که کانال‌های کاتیونی به جای انتقال کلسیم، یون سدیم را انتقال می‌دهند و تمایزی نسبت به کلسیم و سدیم ندارند (Bello et al., 2021). در شوری بالا اتصال کلسیم به پروتئینی (Salt Overly Sensitive 3) $SOS_3$ ، توانسته سمیت $Na^+$ مقابله کنند. از این جهت محتوای کلسیم آزاد کاهش داشته است (Yu *et al.*, 2020). وجود کلسیم در گیاه تحت تنش اسمزی یکی از راهکارهای مقابله با تنش است. برخی محققان بر این باورند که تیمار گیاه با کلسیم و پتاسیم در تنش شوری می‌تواند از انتقال سدیم از ریشه به ساقه جلوگیری کرده و گیاه بتواند شرایط تنش شوری را تحمل کند (Larbi et al., 2020). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش یون کلسیم تحت تیمارهای آهن ۳ گرم بر لیتر و (آهن۳ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر و (آهن۶ کیتوزان ۰/۴) گرم بر لیتر مشاهده شده است. تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر تیمارهای نامبرده بر یون کلسیم ارائه نشده است. ولی در یک نگاه کلی علت این افزایش را می‌توان تأثیر تیمارها بر کانال‌ها و ناقلین مختلفی که در غشا سلول هستند ذکر کرد که هر کدام به گونه‌ای بر غلظت کلسیم اثر دارد.

## نتیجه‌گیری نهایی

تیمارهای آهن و کیتوزان سبب افزایش میزان یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم و کاهش میزان یون آهن در مقایسه با شاهد شد. افزایش میزان یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در پی اعمال تیمارهای آهن و کیتوزان در شرایط کنترل موجب شده تا شاخص‌های رشدی همچون بیومس، سطح برگ و طول ریشه افزایش یابند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به گسترش شوری در مزارع، می‌توان از کیتوزان به‌عنوان یک پلیمر زیستی بی‌خطر و آهن به صورت کلات شده برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری استفاده کرد. از طرفی گیاه کاملینا حاوی اسیدهای چرب امگا ۳ و ویتامین E بالا است و ارزش غذایی بالایی دارد که می‌تواند به‌عنوان یک گیاه ارزشمند در مناطق شور موردتوجه قرار گیرد.

## سپاس‌گزاری

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان بررسی میزان مقاومت به شوری در گیاه کاملینا ساتیوا (*Camelina sativa* (L.) Crantz) و ارزیابی اثر کیتوزان و آهن در بهبود مقاومت آن به شوری می‌باشد که به اعتبار مالی دانشگاه خوارزمی انجام‌شده است لذا بر خود لازم می‌دانیم که از کلیه همکاران مرتبط با این تحقیق و افرادی که به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی نماییم.

## References

**Abdelrady. W.A, Ma. Z, Elshawy. E.E, Wang. L, Askri. S.M.H, Ibrahim. Z, Dennis. E, Kanwal. F, Zeng. F, Shamsi. I.H.** 2024. Physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in barley under salinity stress. Plant Stress 11: 100403. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100403.

**Al-Amri. N, Tombuloglu. H, Slimani. Y, Akhtar. S, Barghouthi. M, Almessiere. M, Alshammari. T, Baykal. A, Sabit. H. & Ercan, I.** 2020. Size effect of iron (III) oxide nanomaterials on the growth, and their uptake and translocation in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Ecotoxicology and Environmental Safety 94: 110377. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110377.

**Al Otaibi. F.A, Alghamdi. S.A, Abo-Elyousr. K.A.** 2024. The influence of salinity on plant growth and Amendment Strategies. Sohag Journal of Sciences 9:



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

261-267.
DOI:10.21608/SJSCI.2024.258471.1168.

**Alenazi. M.M, El-Ebidy. A.M, El-Shehaby. O.A, Seleiman. M.F, Aldhuwaib. K.J, Abdel-Aziz. H.M. 2024.** Chitosan and chitosan nanoparticles differentially alleviate salinity stress in *Phaseolus vulgaris* L. Plants 13: 398. https://doi.org/ 10.3390/plants13030398.

**Arif. Y, Singh. P, Siddiqui. H, Bajguz.A, Hayat. S.** 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry 156: 64-77.https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.1008.1042.

**Bakhoum. G.S, Sadak. M.S, Badr. E.A.E.M.** 2020. Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan. Bulletin of the National Research Centre 44: 1-11. https ://doi.org/10.1186/s42269-020-00343-7.

**Bello, S.K., Alayafi, A.H., Al-Solaimani, S.G. & Abo-Elyousr, K.A.** 2021. Mitigating soil salinity stress with gypsum and bio-organic amendments: A review. Agronomy 11: 1735-1753. https: //doi.org/1710.3390/ agronomy 11091735.

**Bistgani. Z.E, Hashemi. M, Hamid. R.** 2021. Fertilizer source and chitosan effect on productivity, nutrient accumulation, and phenolic compounds of *Thymus daenensis* Celak. Agronomy Journal 113: 5499-5515. https://doi.org/10.1002/agj2.20858.

**Chandrasekaran. M, Paramasivan. M.** 2024. Chitosan derivatives act as a bio-stimulants in plants: A review . International Journal of Biological Macromolecules 132720. https: //doi.org/ 10.1016/j .ijbiomac. 2024.132720.

**Demehin. O, Attjioui. M, Goñi. O, O'Connell. S.** 2024. Chitosan from Mushroom Improves Drought Stress Tolerance in Tomatoes. Plants 13: 1038. https://doi.org/1010.3390/plants13071038.

**Dubois. M, Gilles. K.A, Hamilton. J.K, Rebers. P.t, Smith. F.** 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28: 350-356.

**Gholinezhad, E. Kazemi, Sh. Lalehgani, B.** 2024. The effect of foliar spraying of polyamines on growth traits, seed yield and yield components of Camelina (*Camelina sativa* L.) at different levels of salinity stress. Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology.13(59): 193-210. https://doi. org/10.22034/13.59.193. (In persian).

**Jahanshahi Anboohi. K , Seyed Hajizadeh. H, Hemmati. A, Rezaei. S.** 2021. The interaction of potassium and iron on nutritional quality of apple fruit during storage life. Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology 10 (42): 53-69. DOR: 20.1001. 1.23222727.1400.10.42.11.3 (In persian).

**Khosravi. E, Salimi. A, Chavoushi. M, zeidi. H.** 2021. Role of chitosan in reducing the effects of salinity stress through enzymatic and non-enzymatic antioxidants in *Portulaca oleracea* L. Iranian Journal of Biology 35(4): 690-702. (In persian).

**Khorasaninejad. S, Gorgini Shabankareh. H, Azadi. M, Mohajervatan. Z.** 2020. Effect of iron nutrient on growth, physiological and biochemical trait of *Echinaceae purpurea* to water deficit treatments. Arid Biome Scientific Journal 9(2): 53-70. DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2020.1816 (In persian).

**Larbi. A, Kchaou. H, Gaaliche. B, Gargouri. K, Boulal. H. Morales. F** . 2020. Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. Scientia Horticulturae 260: 108912-108922. https://doi.org/108910. 101016/j.scienta.102019.108912.

**Liu. X, Chai. J, Zhang. Y, Zhang. C, Lei.Y, Li. Q, Yao. T.** 2022. Halotolerant rhizobacteria mitigate the effects of salinity stress on maize growth by secreting exopolysaccharides. Environmental and Experimental Botany 204: 105098. https://doi.org/105010.101016/j.envexpbot .102022.105098.

**Mazrou. R, Ali. E.F, Hassan. S, Hassan. F.A.** 2021. A pivotal role of chitosan nanoparticles in enhancing the essential oil productivity and antioxidant capacity in *Matricaria chamomilla* L. Horticulturae 7: 574. https://doi.org/10.3390/horticulturae



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

7120574.

**Mohmmadi. S, Mohtadi. A, Movahhedi Dehnav. M.** 2019. The effect of different iron concentrations on growth and elements uptake of flax (*Linum usitatissimum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology 8 (32): 463-477. DOR: 20.1001.1.23222727 .1398.8.32.9.7. (In persian).

**Mozafari. H, Hejabi. M, Salari. H, Oloumi. H.** 2023. Effect of iron oxide and zinc oxide nanoparticles on growth improvement and tolerance to salinity stress in tomato plants. Journal of Ethno-Pharmaceutical Products 3: 31-45. DOI:10 .48306/epp.2023.2011012.1062.

**Nikoosefat. O, Shariatinia. Z, Mair. F.S, Paghaleh. A.S.** 2023. An effective strategy to synthesize water-soluble iron heterocomplexes containing Dubb humic acid chelating agent as efficient micronutrients for iron-deficient soils of high pH levels. Journal of Molecular Liquids 376:121441. https: //doi.org/ 10.1016 /j.molliq.2023.121441.

**Rashid. M, Noreen. S, Shah. K.H, Gaafar. A.-R.Z, Waqar. R.** 2024. Morphological and biochemical variations caused by salinity stress in some varieties of *Pennisetum glaucum* L. Journal of King Saud University-Science 36: 102994. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.10299 4.

**Shahid. M.A, Sarkhosh. A, Khan. N, Balal. R.M, Ali. S, Rossi. L, Gómez. C, Mattson. N, Nasim. W, Garcia-Sanchez. F.** 2020. Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development. Agronomy 10: 938-971. https://doi.org/10.3390/ agronomy10070938.

**Sharavdorj. K, Byambadorj. S.-O, Jang. Y, Ahn. Y, Cho. J.-W.** 2024. Evaluating the effects of long-term salinity stress on the growth and physiology of mono and mixed crops. Agronomy 14: 287-303. https://doi.org/10.3390/agronomy1402028 7.

S**oori. N, Bakhshi. D, Rezaei Nejad. A.** 2019. Effect of salinity stress on some physiological characteristics and photosynthetic parameters of several Iranian commercial pomegranate genotypes. Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology 8(30):155-170. DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.19.3. (In persian).

**Sydor. M, Kurasiak-Popowska. D, Stuper-Szablewska. K, Rogoziński. T.** 2022. *Camelina sativa*. Status quo and future perspectives. Industrial Crops and Products 187: 115531-115542. https:// doi.org/ 10.1016/ j. indcrop.2022.115531.

**Teimoori. N, Ghobadi. M, Kahrizi. D.** 2023. Improving the growth characteristics and grain production of Camelina (*Camelina sativa* L.) under salinity stress by silicon foliar application. Agrotechniques in Industrial Crops 3: 1-13. http://doi . 10.22126. /ATIC.2023.8681.1081.

**Wang. Y, Wang. S, Xu. M, Xiao. L, Dai. Z, Li. J.** 2019. The impacts of γ-$F_{e2}O_3$ and $Fe_3O_4$ nanoparticles on the physiology and fruit quality of muskmelon (*Cucumis melo*) plants. Environmental Pollution 249: 1011-1018. https://doi.org/1010. 1016/j.envpol.2019.1003.1119.

**Yamasaki. S, Dillenburg. L.R.** 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasilleira de Fisiologia Vegetal 11: 69-75.

**Yu. Z, Duan. X, Luo. L, Dai. S, Ding. Z, Xia. G.** 2020. How plant hormones mediate salt stress responses. Trends in Plant Science 25: 1117-1130.

**Zafar. S, Hasnain. Z, Danish. S, Battaglia. M.L, Fahad. S, Ansari. M.J, Alharbi. S.A.** 2024. Modulations of wheat growth by selenium nanoparticles under salinity stress. BMC Plant Biology 24: 35-48. https://doi.org/10.1186/s12870-02404720-6.

**Zia-ur-Rehman. M, Anayatullah. S, Irfan. E, Hussain. S.M, Rizwan. M, Sohail. M.I, Jafir. M, Ahmad. T, Usman, M, Alharby. H.F.** 2023. Nanoparticles assisted regulation of oxidative stress and antioxidant enzyme system in plants under salt stress: A review. Chemosphere 314: 137649. https://doi. org/10.1016/j. chemosphere. 2022.137649.



[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]

*****

**How to cite this article:**

**Sefati.S,Behboodian.B ,Dolatabadi.S.** 2025. Green synthesis of silver nanoparticles using Verbascum thapsus extract and its effect on BfmR gene expression in clinical isolates of Acinetobacter baumannii. Nova Biologica Reperta 11: 82-97. (In Persian).

**صفاتی.ص، بهبودیان.ب، دولت آبادی.س،** ۱۴۰۳. سنتز سبز نانوذرات نقره با عصاره گیاه ماهور و بررسی اثر آن بر بیان ژن BfmR در ایزوله های بالینی اسینتوباکتر بومانی. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۱۱: ۹۷-۸۲.

[ Downloaded from nbr.khu.ac.ir on 2025-04-06 ]