

## اثر تیمار فسفر و منیزیم بر ساختار ریشه‌های *Salicornia spp.* در شرایط تنش شوری

سمانه معتبرنیا<sup>۱</sup>، عبدالکریم چهرگانی‌راد<sup>۱\*</sup>، محمدرضا غفاری<sup>۲\*</sup> و نیره‌اعظم خوش‌خلق‌سیما<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> ایران، همدان، دانشگاه بوعلی‌سینا، گروه زیست‌شناسی

<sup>۲</sup> ایران، کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، گروه زیست‌شناسی سامانه‌ها

<sup>۳</sup> ایران، کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، گروه فیزیولوژی مولکولی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸

### چکیده

با توجه به محدودیت شدید آب‌شیرین در ایران، استفاده از منابع آبی شور با کیفیت پایین، از ضروریات اجتناب‌ناپذیر در توسعه کشاورزی پایدار می‌باشد. یکی از راهکارهای مقابله با تغییرات اقلیم استفاده از پتانسیل گیاهان هالوفیتی مانند سالیکورنیا برای بهره‌برداری اقتصادی از خاک‌های شور است. در این تحقیق دو ژنوتیپ سالیکورنیا (قم، حساس به شوری و حله، متحمل به شوری) به صورت هیدروپونیک، تحت تیمار شوری و غلظت‌های مختلف فسفر و منیزیم قرار گرفتند. هدف از این مطالعه بررسی نقش این دو عنصر غذایی بر فاکتورهای رشد و خصوصیات ریخت‌شناسی و تشریحی سالیکورنیا تحت تیمار شوری بود. نتایج این تحقیق نشان داد که در شوری صفر میلی‌مولار، فسفر می‌تواند محرک رشد در هر دو ژنوتیپ باشد. اما در شوری‌های ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار، این افزایش اثر منفی بر فاکتورهای رشد داشت. افزایش غلظت منیزیم در هر سه سطح شوری (۰، ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار)، باعث بهبود فاکتورهای رشد در هر دو ژنوتیپ سالیکورنیا شد. همچنین، نبود فسفر در شوری‌های ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار به شدت خصوصیات ریخت‌شناختی گیاه را تحت تاثیر قرار داد و سبب چوبی شدن منطقه‌ای در آندودرم و افزایش قطر در دیواره سلولی گزیم‌ها شد. علاوه‌براین، غلظت ۳ برابر منیزیم در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، سلول‌های اپیدرم و پارانشیم پوست را به شدت دفرمه و دچار پلاسمولیز کرد. این مطالعات نشان داد که تیمار یک برابر منیزیم و فسفر بهترین شرایط را برای رشد سالیکورنیا فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پاسخ‌های ریخت‌شناسی، خصوصیات تشریحی، شورپسند، شوری، عناصر غذایی

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۸۱۳۸۲۷۱۵۴۱، پست الکترونیکی: ghaffari@abrii.ac.ir، chehregani@basu.ac.ir

### مقدمه

شمالی، دریاچه ارومیه در ضلع شمال غربی، دشت کویر و لوت در قسمت‌های مرکزی و سواحل جنوبی کشور می‌شود (۴). از جمله عوامل طبیعی تشدیدکننده شوری می‌توان به تبخیر شدید رطوبت خاک، تجمع یون‌ها در قسمت‌های سطحی خاک، وزش بادهای شدید و شور بودن سنگ بستر اشاره کرد. عوامل انسانی مانند آبیاری بی‌رویه با آب‌های شور، استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی نامناسب و روش‌های کشت غیراصولی نیز تشدید

پدیده شوری خاک، یکی از بزرگترین معضلات کشاورزی در سراسر جهان است. شوری شامل ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی و نیمی از زمین‌های تحت آبیاری در سراسر جهان می‌باشد (۳۰، ۴۳، ۱۴). خاک‌هایی با غلظت  $4\text{ds/m}$  نمک، در گروه خاک‌های شور دسته‌بندی می‌شوند (۳۱). در ایران مساحت خاک‌های شور و خاک‌های وابسته به آن به‌طور متوسط ۲۵ میلیون هکتار گزارش شده است. این مناطق شامل: سواحل دریای خزر در قسمت‌های

کننده این پدیده روبه گسترش هستند (۵،۲۷).

اولین تاثیر سطوح بالای شوری به صورت برهم‌زدن تعادل یونی بروز می‌کند. این مشکل، به‌وسیله تجمع یون‌های متعادل‌کننده و مولکول‌های آلی قطبی مانند پرولین کنترل می‌شود (۱۵). استرس شوری مانع جذب پتاسیم و کلسیم و به دنبال آن، نیترات و فسفات می‌شود. در خاک‌هایی با حاصل‌خیزی اندک، مقاومت به شوری را می‌توان با فراهم‌سازی کودها افزایش داد (۴۱). از طرفی، تولید گیاهان متحمل به شوری، پروسه‌ای سخت و پرهزینه است. همچنین آستانه تحمل محصولات رایج کشاورزی در خاک‌های شور پایین می‌باشد. بنابراین، با هدف بهره‌برداری اقتصادی از زمین‌های شور، استفاده از گیاهان شورپسند همچون سالیکورنیا، به‌عنوان یک راهکار جهانی پذیرفته شده‌است (۱۲).

سالیکورنیا گیاهی یک‌ساله، گوشتی و آبدار از تیره اسفنجیان است و در باتلاق‌ها و مرداب‌ها به خوبی رشد می‌کند. این گیاه در ایران در مناطقی مانند دریاچه ارومیه، دریاچه قم، باتلاق گاوخونی، خراسان جنوبی، گرگان، خلیج فارس و دریای عمان دیده می‌شود (۳۷). این گیاه در برخی کشورها به‌عنوان سبزی در غذاهایی مانند سوپ و سالاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به‌عنوان گیاه دارویی مورد توجه است. دارای دانه‌های روغنی بوده و در صنعت کاغذسازی نیز کاربرد دارد (۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۹، ۳۳).

در همه گیاهان، ریشه‌ها اولین سد مقاومتی به شوری بوده و جذب یون‌ها در این شرایط را به‌شدت کنترل می‌کنند (۴۰). همچنین بسیاری از ویژگی‌های مقاومت به شوری در گیاهان، تشریحی می‌باشد (۳، ۴۴). تحت تنش شوری، برگ‌های گیاهان نقش مهمی را ایفا می‌کنند. همچنین ویژگی‌های سازگار با شوری همچون گوشتی و آبدار شدن برگ‌ها، غده‌های ترشح‌کننده نمک، تحلیل برگ‌ها، کاهش تعداد روزنه‌ها و ظهور روزنه‌های فرورفته در آن‌ها توسعه می‌یابد (۳۶). در ریشه‌ها سوپرینی شدن آندودرم و

آگزودرم همچنین افزایش تعداد و ضخامت گزلیم‌ها تحت تنش شوری گزارش شده است (۲۱، ۱۱). طبق مطالعات صورت گرفته، کمبود یون پتاسیم و سولفور، سوپرینی شدن در لایه آندودرم را افزایش می‌دهد؛ درحالی‌که، کمبود یون آهن، روی و منگنز، باعث مهار آن می‌شود (۷).

مطالعات اندکی بر روی تغییرات تشریحی، تحت تاثیر شوری در گیاهان شورپسند صورت گرفته‌است (۳۶، ۹، ۳۰). همچنین، با وجود تاکید شدید بر ارتباط معماری ریشه و جذب یون‌ها (۲۲) مطالعات اندکی در زمینه استفاده از تیمار عناصر غذایی برای کنترل شوری وجود دارد. بنابراین، در این پژوهش اثر عناصر منیزیم و فسفر بر ریخت‌شناسی و تشریح گیاه *Salicornia spp.* مطالعه و تاثیر آن‌ها بر رشد و سازگاری این گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روشها

**کشت گیاه:** بذرهای *Salicornia spp.* از دو منطقه رودخانه شور درحاشیه اتوبان قم، در استان قم و حله در استان بوشهر جمع‌آوری شد. بذرهای هر دو ژنوتیپ تحت شرایط گلخانه‌ای ( دمای  $28^{\circ}\text{C}$ ، رطوبت ۶۰٪، فتوپریودیسم ۱۴ ساعت روشنایی با اشعه‌های فعال فتوسنتز ( $1250-1000 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$  (PAR) در سینی‌های کشت و تحت آبیاری با آب مقطر کشت شدند. بعد از گذشت یک ماه، دانه‌رست‌هایی با اندازه‌های یکنواخت انتخاب شدند و به ظرف‌های کشت هیدروپونیک حاوی محلول هوگلند (۲۳) انتقال یافتند. بعد از اتمام یک هفته دوره سازگاری گیاهان با محیط، تیمار شوری با درجات  $200, 400, 800, 1600 \text{ mmol}$  به صورت تدریجی (مقادیر نمک هر روز به مقدار ۱۰۰ میلی‌مولار به محیط کشت گیاهان اضافه شد تا به غلظت موردنظر برسند) آغاز گردید. همچنین بعد از اعمال شوری، تیمار فسفر و منیزیم نیز طبق جدول ۱ شروع شد. گیاهان شاهد در محلول یک برابر با فرمول اصلی هوگلند (جدول ۱) رشد کردند و محلول‌های غذایی

هر هفته تعویض شدند. گیاهان به مدت ۳۰ روز تحت تاثیر تیمار عناصر غذایی و ۴۰ روز تحت تاثیر تیمار شوری قرار گرفتند و سپس نمونه برداری انجام گرفت.

جدول ۱- گروه‌های مختلف تیمار شده با محلول‌های نمکی

ترکیب‌های اصلی	ترکیب جایگزین فسفر	ترکیب جایگزین منیزیم	محلول یک برابر	محلول سه برابر
KNO <sub>3</sub>			۶mmol	
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O			۴ mmol	
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	۱ mmol	۱ mmol	۳ mmol
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	۱mmol	۶mmol
Fe EDTA			۲۰/۴۳ μmol	
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>			۶μmol	
MnSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O			۶/۷ μmol	
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O			۰/۷ μmol	
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O			۰/۳ μmol	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>9</sub> O <sub>29</sub> .4H <sub>2</sub> O			۱۴ nmol	

Italy) و دوربین دیجیتال مدل BLACKL.3000 مورد بررسی قرار گرفت.

در این پژوهش، تمام محاسبات آماری با حداقل ۳ تا ۵ تکرار، با استفاده از نرم‌افزار SAS9.1 توسط آزمون دانکن بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج

**تغییرات ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های قم و حله تحت تاثیر تیمار شوری و عناصر غذایی:** مقایسه سطوح مختلف شوری، در هر دو ژنوتیپ نتایج مشابهی را نشان داد. در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، بیشترین میزان وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی مشاهده شد. در شوری صفر میلی‌مولار، گیاهان ضعیف با رشد محدودی رشد کردند. در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، گیاهان از برافراشتگی و بافت‌های پراپی مشاهده شد؛ اما شوری بالا، میزان رشد گیاهان را به شدت تحت تاثیر قرارداد و کاهش قابل توجهی رویت شد (شکل ۱). مقایسه سطوح مختلف عناصر منیزیم و فسفر، در هر دو ژنوتیپ پاسخ‌های متفاوتی را نشان داد. ژنوتیپ قم، در شوری صفر میلی‌مولار، با تیمار سه برابر فسفر و

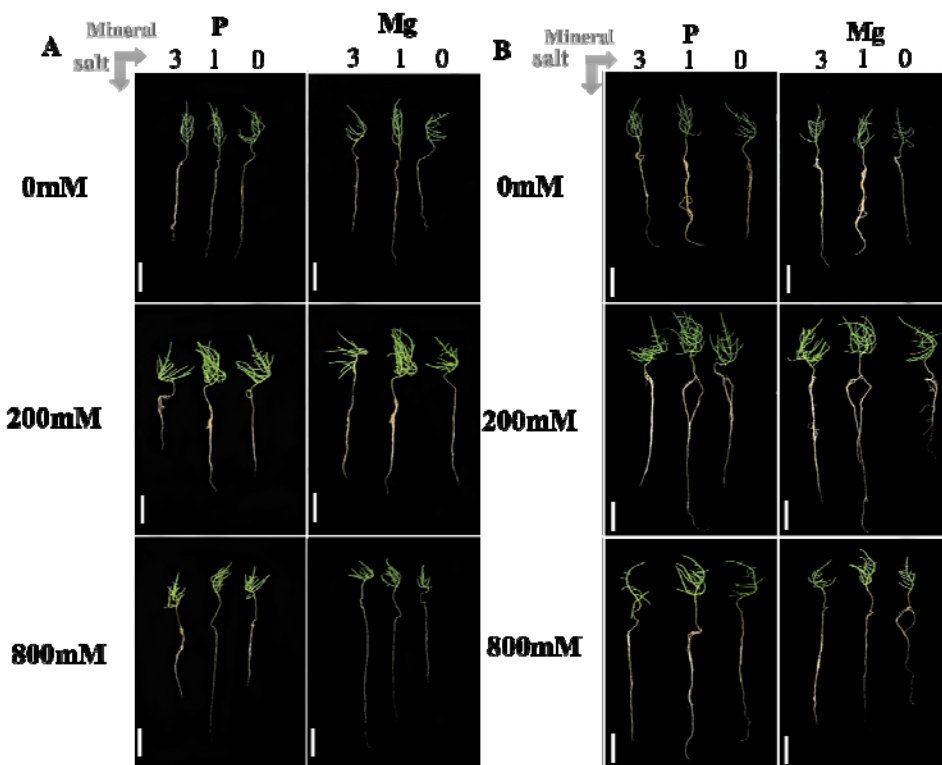
اندازه‌گیری شاخص‌های رشد: وزن تر و خشک ریشه، ساقه و ارتفاع در سه گیاه از هر گروه تیماری اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، همان نمونه‌های وزن شده برای وزن تر، در آون با دمای ۸۰ °C به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شد و سپس توزین گردید.

**بررسی خصوصیات تشریحی ریشه:** ریشه‌های قطع شده، به مدت ۴۸ ساعت در فیکساتور FAA (فرمالدهید، استیک اسید گلاسیال و الکل ۷۰٪ به نسبت ۲:۱۷:۱) قرار گرفت و بعد از آن در الکل ۷۰٪ نگهداری شد. ریشه‌ها با تیغ اصلاح و به صورت دستی برش داده شدند و با روش رنگ‌آمیزی مضاعف آبی‌متیلن و کارمن‌زاجی (۳۴) جهت بررسی با میکروسکوپ نوری آماده شد. لام‌های تهیه شده از قسمت‌های مختلف ریشه با میکروسکوپ نوری مدل Zeiss (آلمان) مشاهده و با دوربین Cannon G11 (ژاپن) عکس برداری شد. همچنین اندازه‌گیری‌های سلولی با نرم‌افزار Digimzyer v5.3.5 صورت گرفت.

ریشه گیاهان، به صورت دستی برش خورد. نمونه‌های برش‌گیری شده و فاقد رنگ جهت مشاهده و عکس برداری با میکروسکوپ فلورسانس Bel مدل FLUO-3 (Monza, )

(A). اما در ژنوتیپ حله، در هر سه سطح شوری، تیمار یک-برابر فسفر و منیزیم بهترین حالت رشد را داشت (شکل ۱-B).

منیزیم رشدی هم سطح با تیمار یک-برابر را نشان داد، اما در شوری ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار، تیمار یک-برابر بیشترین میزان رشد را داشته مقادیر اضافی مهارکننده رشد بود (شکل ۱).



شکل ۱- تغییرات ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های قم وحله تحت تاثیر تیمار شوری و عناصر غذایی (A ژنوتیپ قم B) ژنوتیپ حله، در سطرها غلظت‌های مختلف شوری و در ستون‌ها غلظت‌های مختلف فسفر و منیزیم نشان داده شده است. 0: نبود فسفر و منیزیم، 1: غلظت یک برابر فسفر و منیزیم، 3: غلظت سه برابر فسفر و منیزیم

تر و خشک بخش هوایی در تیمار یک برابر فسفر بروز کرد. همچنین، درهمه سطوح شوری، تیمار سه برابر فسفر تولید بیشتری نسبت به نبود آن ارائه داد (جدول ۲).

در شوری صفر میلی‌مولار، تیمار سه برابر فسفر باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه در ژنوتیپ قم شد. اما در شوری ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار، فقدان فسفر، بیشترین میزان تولید را نشان داد. در ژنوتیپ حله بیشترین میزان وزن تر و خشک، در هر سه سطح شوری، در تیمار یک برابر فسفر گزارش شد (جدول ۲).

طول ریشه در ژنوتیپ قم، در هر سه سطح شوری، با افزایش فسفر کاهش پیدا کرد. اما در ژنوتیپ حله، در هر

اثر فسفر: نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که به‌کارگیری فسفر، در هر سه سطح شوری، بر فاکتورهای مختلف رشد (وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و همچنین بر طول ریشه) در دو ژنوتیپ قم و حله اثر معنی‌داری داشت ( $p \leq 0.01$ ). در ژنوتیپ قم فقدان فسفر در هر سه سطح شوری باعث افزایش وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه شد؛ در شوری ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار، استفاده از تیمار سه برابر فسفر مهار کننده رشد بود. این تغییرات با تغییرات وزن خشک نیز کاملاً مطابقت داشت. اما در شوری صفر کاربرد تیمار سه برابر فسفر رشد بهتری را نشان داد. در ژنوتیپ حله، در هر سه سطح شوری، بیشترین میزان وزن-

سه سطح شوری، بلندترین طول ریشه در تیمار یک برابر فسفر مشاهده شد. تیمار سه برابر فسفر نیز با وجود کاهش جزئی نسبت به تیمار یک برابر فسفر، ریشه‌های بلندتری نسبت به فقدان فسفر تشکیل داد (جدول ۲).

**اثر منیزیم:** همچنین، نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که به‌کارگیری منیزیم نیز در هر سه سطح شوری، بر فاکتورهای مختلف رشد (وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و همچنین بر طول ریشه) در دو ژنوتیپ قم و حله اثر معنی‌داری داشت ( $p \leq 0.01$ ). طبق نتایج ما، ژنوتیپ قم در هر سه سطح شوری، کمترین میزان وزن تر و خشک بخش‌هوائی را در فقدان منیزیم نشان داد. تیمار یک برابر سه برابر منیزیم نیز، تولید تقریباً هم سطحی داشت. اما در ژنوتیپ حله در هر سه سطح شوری، تیمار یک برابر منیزیم، بیشترین میزان تولید وزن تر و خشک بخش‌هوائی را داشت و با افزایش سطح شوری میزان تولید کاهش یافت (جدول ۳).

در ژنوتیپ قم با افزایش منیزیم در هر سه سطح شوری، میزان تولید وزن تر و خشک ریشه افزایش یافت. در ژنوتیپ حله، بیشترین میزان تولید وزن تر و خشک ریشه در تیمار یک برابر منیزیم گزارش شد (جدول ۴).

در ژنوتیپ قم، در شوری ۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، طول ریشه در تیمار یک برابر و سه برابر منیزیم، تقریباً همسطح بود. اما در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، تیمار ۳ برابر منیزیم باعث افزایش قابل توجهی در طول ریشه شد. در ژنوتیپ حله، در همه سطوح شوری، بیشترین طول ریشه در غلظت یک برابر منیزیم مشاهده شد (جدول ۳).

**تکوین ریشه‌های جانبی:** پرموردیوم‌های ریشه جانبی از سلول‌های مریستمی تشکیل شده است. این سلول‌ها به تدریج تعیین سرنوشت شده و به بافت‌های مختلفی تمایز می‌یابند. پروتوفلوئم‌ها و پروتوگزیم‌ها، جزء اولین بافت‌هایی هستند که تمایز پیدا می‌کنند (شکل ۲ A). با پیشروی در مراحل تکوین، متاگزیم‌ها و دستجات آبکش درون

استوانه آوندی به همراه بافت‌های دیگر از جمله: دایره محیطیه و آندودرم تشکیل می‌شوند (شکل ۲ B و C). همچنین در خارج استوانه آوندی، در لایه پوست، سلول‌ها از هم فاصله گرفته و آنراشیم‌ها را ایجاد می‌کنند (شکل ۲ B و C). با رشد گیاه دستجات آوندی گسترش یافته و در میان آن‌ها سلول‌های فیبر شروع به تشکیل کرده (شکل ۲ D) و به سرعت گسترش می‌یابند (شکل ۲ E). چوب و آبکش اولیه با یک الگوی منظم به صورت حلقه‌ای تشکیل شده و به صورت ۶ دسته آوندی درون دایره محیطیه قرار می‌گیرند. گزیم‌ها از تیپ دی‌آرش بوده و به خوبی مشخص و متمایز هستند (شکل ۲ D). با نزدیک شدن ریشه به مرحله بلوغ کامل، پریدرم و دستجات آوندی ثانویه تشکیل می‌شود. (شکل ۲ F-I). پریدرم در خارج دستجات آوندی ثانویه شکل می‌گیرد و شامل بافت‌های سوپرینی در بیرون و بافت‌های پارانشیمی به سمت داخل می‌شود (شکل ۲ H-J). در اکثر ریشه‌ها، مغز ریشه از بین رفته است. همچنین، در میان سلول‌های گزیم، بافت پارانشیمی وجود دارد که پارانشیم چوب نامیده می‌شود (شکل ۲ K و L).

**اثر شوری، فسفر و منیزیم بر خصوصیات تشریحی: اثر شوری NaCl:** جهت بررسی تغییرات شوری محلول یک برابر فسفر و منیزیم به‌عنوان شاهد انتخاب شد و تاثیر شوری بر خصوصیات تشریحی مورد بررسی قرار گرفت. هر دو ژنوتیپ قم و حله تحت تاثیر تیمار شوری، تغییرات تقریباً مشابهی را نشان دادند. هر دو ژنوتیپ، در شوری صفر میلی‌مولار، سلول‌های پارانشیمی کروی و اپیدرم منظمی داشت (شکل ۲ A). در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، سلول‌های پارانشیم اندکی دفرمه شدند. اما همچنان اپیدرم منظم بود (شکل ۲ B). در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، سلول‌های اپیدرمی نامنظم و پارانشیم به شدت بد شکل شدند. همچنین متاگزیم‌هایی که هنوز چوبی نشده‌اند، تغییر شکل داده و از حالت کروی خارج شدند (شکل ۲ C و D). در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، آندودرم شروع به چوبی شدن کرد (شکل ۲ B) که در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار رویت نشد.

جدول ۲- تغییرات مورفولوژیک ژئوتیپ قم و حله تحت تاثیر تیمار فسفات در غلظت های ۰، ۲۰۰، ۸۰۰ میلی مولار شوری

شوری (mmol)	مقادیر مختلف فسفر	وزن تر بخش هوایی (g)		وزن خشک بخش هوایی (g)		وزن تر ریشه (g)		وزن خشک ریشه (g)		طول ریشه (cm)	
		حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**
۰	نبود فسفر	2/10±0/04 <sup>cd</sup>	1/21±0/1 <sup>e</sup>	0/20±0/01 <sup>bc</sup>	0/16±0/01 <sup>d</sup>	0/23±0/02 <sup>cd</sup>	0/27±0/04 <sup>de</sup>	0/027±0/003 <sup>d</sup>	0/028±0/003 <sup>e</sup>	31/3±1/33 <sup>a</sup>	26/6±1/66 <sup>de</sup>
	یک برابر	1/46±0/08 <sup>e</sup>	2/87±0/06 <sup>d</sup>	0/147±0/01 <sup>d</sup>	0/83±0/01 <sup>c</sup>	0/33±0/02 <sup>c</sup>	0/87±0/08 <sup>c</sup>	0/031±0/001 <sup>cd</sup>	0/084±0/008 <sup>bc</sup>	30/33±1/45 <sup>a</sup>	41±2/08 <sup>b</sup>
	سه برابر	2/54±0/1 <sup>bc</sup>	1/52±0/14 <sup>e</sup>	0/24±0/02 <sup>b</sup>	0/17±0/01 <sup>d</sup>	0/61±0/05 <sup>a</sup>	0/60±0/03 <sup>d</sup>	0/048±0/002 <sup>b</sup>	0/048±0/002 <sup>de</sup>	27/0±0/57 <sup>a</sup>	29/3±0/66 <sup>cd</sup>
۲۰۰	نبود فسفر	4/31±0/5 <sup>a</sup>	2/03±0/23 <sup>e</sup>	0/35±0/02 <sup>a</sup>	0/20±0/02 <sup>d</sup>	0/60±0/04 <sup>a</sup>	0/46±0/05 <sup>e</sup>	0/061±0/003 <sup>a</sup>	0/061±0/004 <sup>cd</sup>	27/0±1 <sup>a</sup>	23/6±0/66 <sup>ef</sup>
	یک برابر	2/73±0/04 <sup>b</sup>	9/22±0/43 <sup>a</sup>	0/243±0/02 <sup>b</sup>	0/708±0/02 <sup>a</sup>	0/50±0/02 <sup>b</sup>	1/32±0/04 <sup>a</sup>	0/038±0/002 <sup>c</sup>	0/143±0/011 <sup>a</sup>	31±2/08 <sup>a</sup>	45/66±1/20 <sup>a</sup>
	سه برابر	1/46±0/04 <sup>e</sup>	5/70±0/48 <sup>b</sup>	0/13±0/002 <sup>d</sup>	0/39±0/02 <sup>b</sup>	0/25±0/03 <sup>cd</sup>	0/55±0/04 <sup>de</sup>	0/025±0/003 <sup>de</sup>	0/025±0/003 <sup>e</sup>	16/0±0/57 <sup>c</sup>	33/3±1/66 <sup>e</sup>
۸۰۰	نبود فسفر	2/44±0/24 <sup>bc</sup>	1/50±0/17 <sup>e</sup>	0/24±0/01 <sup>cd</sup>	0/17±0/02 <sup>d</sup>	0/25±0/02 <sup>cd</sup>	0/15±0/01 <sup>g</sup>	0/029±0/002 <sup>d</sup>	0/040±0/001 <sup>de</sup>	30/3±1/45 <sup>a</sup>	20/6±0/66 <sup>f</sup>
	یک برابر	1/70±0/06 <sup>de</sup>	3/78±0/18 <sup>c</sup>	0/167±0/01 <sup>cd</sup>	0/403±0/01 <sup>b</sup>	0/15±0/01 <sup>de</sup>	1/03±0/02 <sup>b</sup>	0/018±0/001 <sup>e</sup>	0/083±0/008 <sup>bc</sup>	28±1/	42/66±1/45 <sup>ab</sup>
	سه برابر	1/22±0/11 <sup>e</sup>	1/59±0/10 <sup>e</sup>	0/12±0/01 <sup>d</sup>	0/18±0/02 <sup>d</sup>	0/09±0/01 <sup>e</sup>	0/29±0/02 <sup>f</sup>	0/018±0/001 <sup>e</sup>	0/019±0/001 <sup>e</sup>	22/3±1/45 <sup>b</sup>	26/6±1/66 <sup>de</sup>

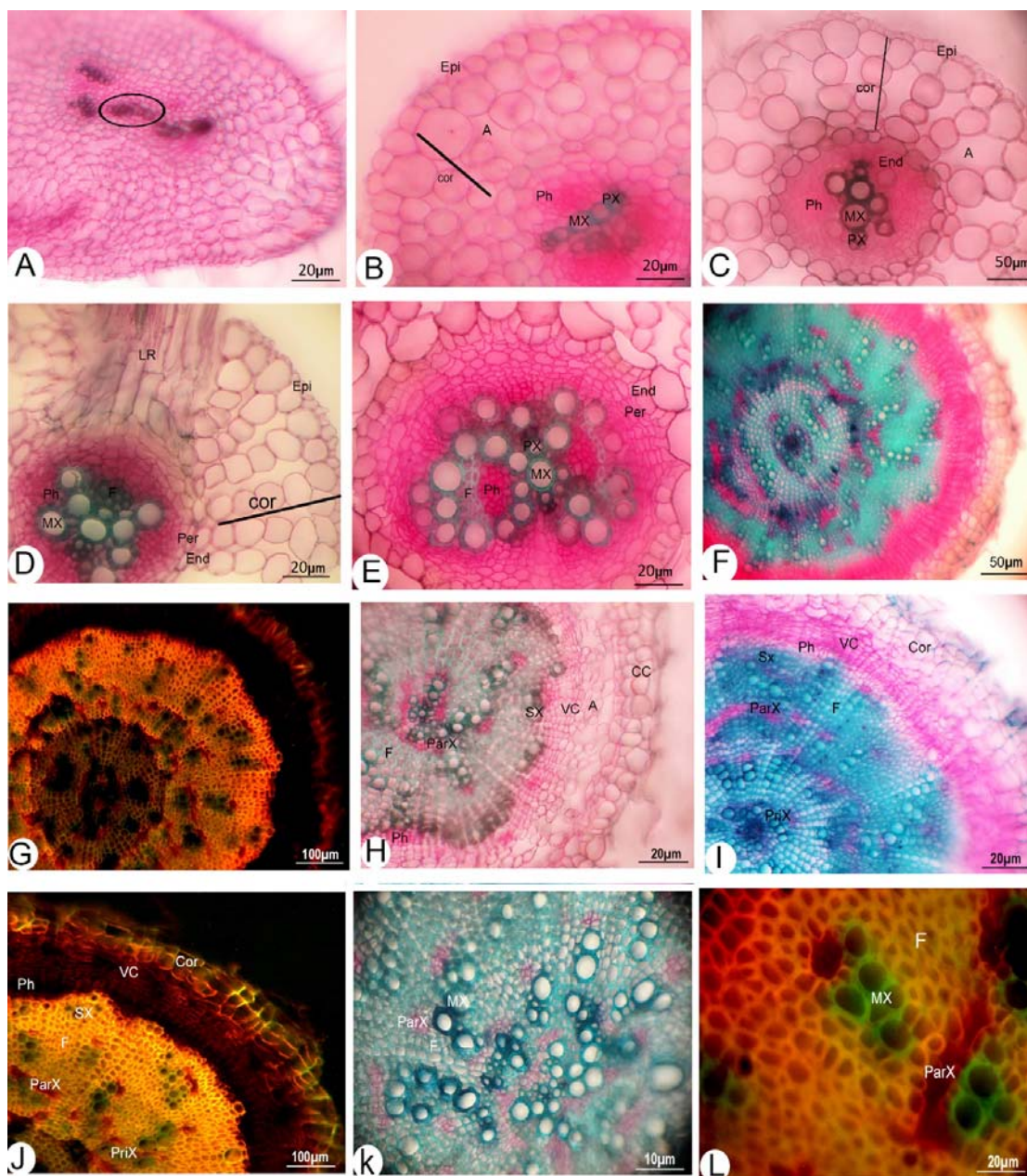
هرستون معرف میانگین ۳ تکرار ±SE است. حروف متفاوت باینتر اختلاف معنی دار است. \* اختلاف معنی دار با گروه شاهد. در سطح (p ≤ 0/01).

جدول ۳- تغییرات مورفولوژیک ژئوتیپ قم و حله تحت تاثیر تیمار منیزیم در غلظت های ۰، ۲۰۰، ۸۰۰ میلی مولار شوری

شوری (mmol)	مقادیر مختلف منیزیم	وزن تر بخش هوایی (g)		وزن خشک بخش هوایی (g)		وزن تر ریشه (g)		وزن خشک ریشه (g)		طول ریشه (cm)	
		حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**	حله** قم**
۰	نبود منیزیم	1/00±0/09 <sup>de</sup>	1/27±0/05 <sup>e</sup>	0/083±0/01 <sup>d</sup>	0/125±0/01 <sup>e</sup>	0/15±0/02 <sup>d</sup>	0/41±0/05 <sup>ef</sup>	0/020±0/002 <sup>c</sup>	0/020±0/001 <sup>cd</sup>	21±1 <sup>e</sup>	37±1 <sup>bc</sup>
	یک برابر	1/46±0/08 <sup>c</sup>	2/87±0/06 <sup>d</sup>	0/147±0/01 <sup>d</sup>	0/283±0/01 <sup>cd</sup>	0/33±0/02 <sup>c</sup>	0/87±0/08 <sup>c</sup>	0/031±0/001 <sup>b</sup>	0/084±0/008 <sup>b</sup>	30/33±1/45 <sup>bc</sup>	41±2/08 <sup>ab</sup>
	سه برابر	1/28±0/14 <sup>cd</sup>	1/47±0/22 <sup>e</sup>	0/154±0/01 <sup>c</sup>	0/183±0/02 <sup>e</sup>	0/34±0/03 <sup>c</sup>	0/44±0/05 <sup>de</sup>	0/037±0/002 <sup>b</sup>	0/035±0/003 <sup>c</sup>	29/66±1/45 <sup>bc</sup>	39/33±0/66 <sup>ab</sup>
۲۰۰	نبود منیزیم	1/74±0/12 <sup>c</sup>	4/78±0/29 <sup>b</sup>	0/150±0/02 <sup>c</sup>	0/386±0/02 <sup>b</sup>	0/18±0/02 <sup>d</sup>	0/47±0/04 <sup>de</sup>	0/021±0/002 <sup>c</sup>	0/018±0/002 <sup>cd</sup>	24/33±0/66 <sup>de</sup>	38±2 <sup>bc</sup>
	یک برابر	2/73±0/04 <sup>b</sup>	9/22±0/43 <sup>a</sup>	0/243±0/02 <sup>b</sup>	0/708±0/02 <sup>a</sup>	0/50±0/02 <sup>b</sup>	1/32±0/04 <sup>a</sup>	0/038±0/002 <sup>b</sup>	0/143±0/011 <sup>a</sup>	31±2/08 <sup>a</sup>	45/66±1/20 <sup>a</sup>
	سه برابر	4/22±0/24 <sup>a</sup>	3/34±0/17 <sup>cd</sup>	0/334±0/02 <sup>a</sup>	0/318±0/02 <sup>c</sup>	0/85±0/06 <sup>a</sup>	0/56±0/06 <sup>d</sup>	0/083±0/005 <sup>a</sup>	0/084±0/005 <sup>b</sup>	30/66±0/66 <sup>bc</sup>	44±2/30 <sup>b</sup>
۸۰۰	نبود منیزیم	0/58±0/01 <sup>e</sup>	1/23±0/11 <sup>e</sup>	0/071±0/01 <sup>d</sup>	0/253±0/02 <sup>d</sup>	0/09±0/01 <sup>d</sup>	0/28±0/04 <sup>f</sup>	0/008±0/001 <sup>d</sup>	0/01±0/001 <sup>d</sup>	26±1/20 <sup>cd</sup>	31±1/45 <sup>c</sup>
	یک برابر	1/70±0/06 <sup>c</sup>	3/78±0/18 <sup>c</sup>	0/167±0/01 <sup>c</sup>	0/403±0/01 <sup>b</sup>	0/15±0/01 <sup>d</sup>	1/03±0/02 <sup>b</sup>	0/018±0/001 <sup>e</sup>	0/083±0/008 <sup>bc</sup>	28±1/52 <sup>bcd</sup>	42/66±1/45 <sup>ab</sup>
	سه برابر	1/55±0/21 <sup>c</sup>	1/71±0/17 <sup>e</sup>	0/148±0/02 <sup>c</sup>	0/183±0/01 <sup>e</sup>	0/39±0/05 <sup>c</sup>	0/26±0/01 <sup>f</sup>	0/034±0/001 <sup>b</sup>	0/035±0/001 <sup>b</sup>	43/66±1/20 <sup>a</sup>	32±1 <sup>c</sup>

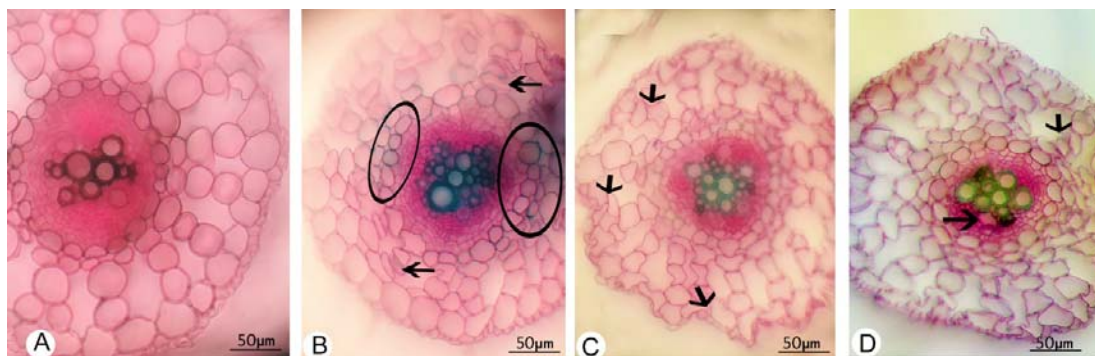
هرستون معرف میانگین ۳ تکرار ±SE است. حروف متفاوت باینتر اختلاف معنی دار است. \* اختلاف معنی دار با گروه شاهد. در سطح (p ≤ 0/01).





شکل ۲- مراحل مختلف تکوین ریشه سالیکورنیا در برش‌های عرضی؛ (A) تشکیل پروتوگزایلم؛ (B و C) تشکیل بافت‌های مختلف درون و بیرون استوانه‌آوندی؛ (D و E) ظهور و گسترش فیبرها؛ (F) نمایی از ریشه بالغ با میکروسکپ نوری و (G) میکروسکپ فلورسانس؛ (H و I) ریشه بالغ با بزرگنمایی بیشتر با میکروسکپ نوری و (J) میکروسکپ فلورسانس؛ (K) نمایی از دستجات آوند با بزرگنمایی بالا با میکروسکپ نوری و (L) میکروسکپ فلورسانس.

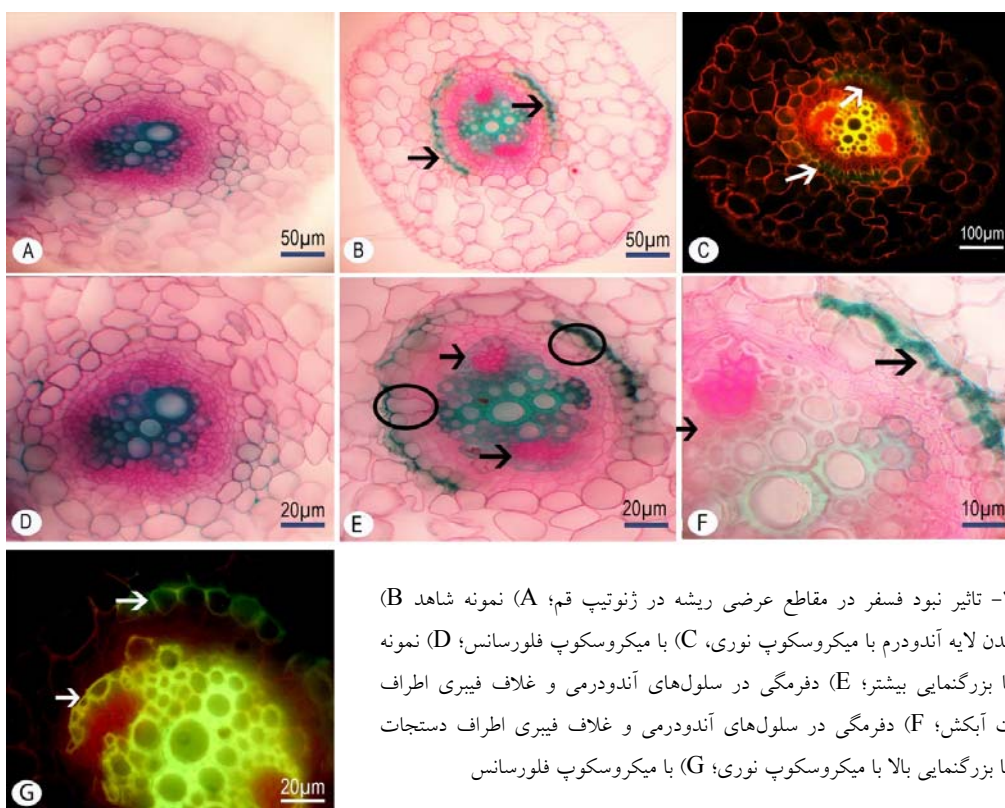
مخففها: F: دستجات فیبر، Per: پریسیکل، MX: متاگزایلم‌ها، Ph: دستجات آبکش، End: آندودرم، Cor: پوست، Epi: اپیدرم، PX: پروتوگزایلم‌ها، ParX: پارانشیم چوب، SX: چوب ثانویه، VC: کامبیوم آوندی، CC: کامبیوم پوست، Pri X: چوب اولیه.



شکل ۳- تاثیر غلظت‌های مختلف شوری در مقاطع عرضی ریشه در ژنوتیپ قم (A شوری صفر میلی‌مولار؛ B) چوبی شدن آندودرم در برخی مناطق و دفرمه شدن سلول‌های پارانشیمی در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ C و D) پلاسمولیز شدید سلول‌های پارانشیمی، نامنظمی در اپیدرم و بدشکلی متاگزپلم-های چوبی نشده

دفرمگی شده و ظاهر طبیعی خود را از دست دادند (شکل ۴E). از طرفی، فیبرها که بافت استحکامی گیاهان علفی هستند، در تیمار مذکور به سرعت به دور دستجات آبکش تشکیل شدند (شکل ۴E-G)، درحالی‌که در همین مرحله تکوینی از رشد گیاه در گیاهان شاهد هنوز دستجات فیبر تشکیل نشده است (شکل ۴A-D).

اثر فسفر: گیاهان ژنوتیپ قم در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، چوبی شدن سلول‌های آندودرمی را در نبود فسفر به-وضوح نشان دادند (شکل ۴B). از آنجا که بافت‌های چوبی گیاهان اتوفلورسانس بوده، بدون هیچ رنگ‌آمیزی با میکروسکوپ فلورسانس این بافت‌ها قابل رویت بود (شکل ۴C). همچنین برخی از سلول‌های آندودرمی دچار

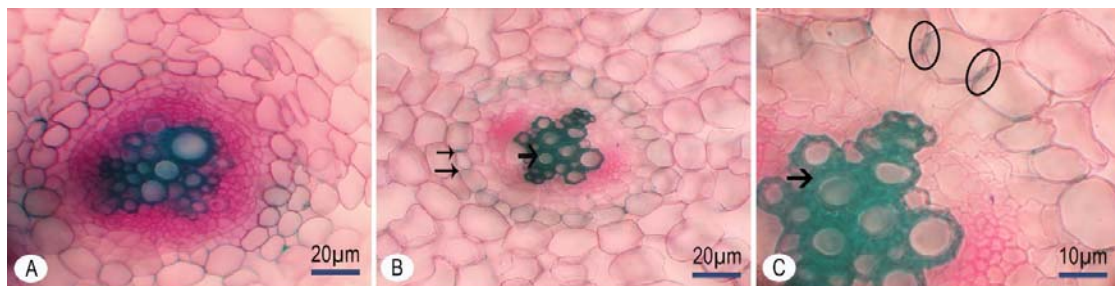


شکل ۴- تاثیر نبود فسفر در مقاطع عرضی ریشه در ژنوتیپ قم؛ (A نمونه شاهد B) چوبی شدن لایه آندودرم با میکروسکوپ نوری، (C) با میکروسکوپ فلورسانس؛ (D) نمونه شاهد با بزرگنمایی بیشتر؛ (E) دفرمگی در سلول‌های آندودرمی و غلاف فیبری اطراف دستجات آبکش؛ (F) دفرمگی در سلول‌های آندودرمی و غلاف فیبری اطراف دستجات آبکش با بزرگنمایی بالا با میکروسکوپ نوری؛ (G) با میکروسکوپ فلورسانس



سلولی در گزیلم‌ها مشهود بود (شکل ۵). ژنوتیپ حله تفاوت محسوسی نشان نداد.

در تیمار شوری ۸۰۰ میلی مولار و ۳ برابر فسفر نیز، چوبی شدن دیواره عرضی سلول‌های درونی پوست مشابه لایه آندودرم مشاهده شد. همچنین افزایش ضخامت دیواره

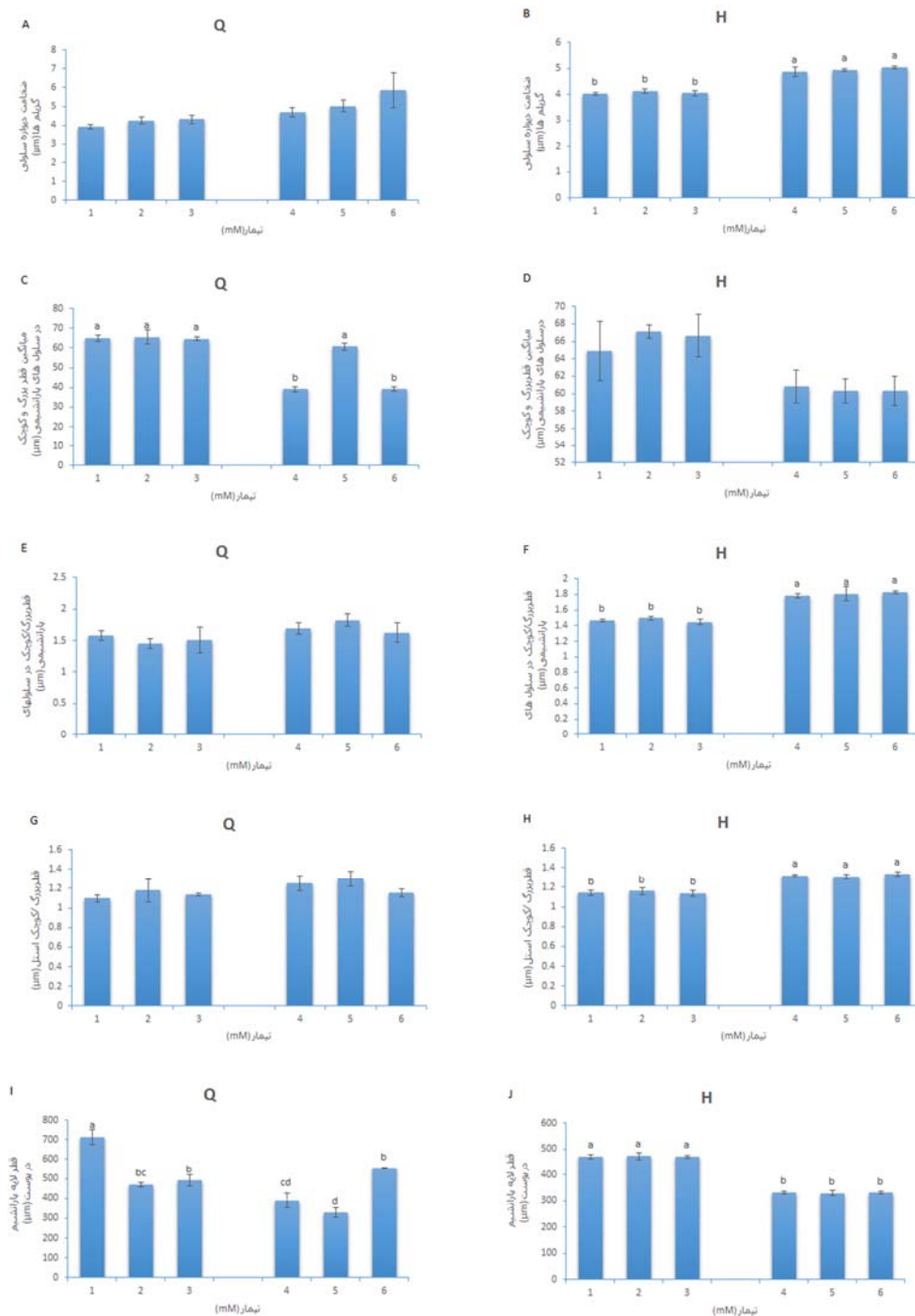


شکل ۵- تاثیر تیمار ۳ برابر فسفر در شوری ۸۰۰ میلی مولار بر مقاطع عرضی ریشه در ژنوتیپ قم؛ (A) نمونه شاهد؛ (B) چوبی شدن جزئی دیواره‌های عرضی آندودرم؛ (C) مشاهده قسمت‌های چوبی آندودرم و ضخیم‌شدگی دیواره گزیلم‌ها با بزرگنمایی بیشتر.

**اثر منیزیم:** نتایج نشان داد، در ژنوتیپ قم در شوری ۸۰۰ میلی مولار با تیمار ۳ برابر منیزیم، سلول‌های اپیدرمی و پارانشیمی به شدت دفرمه شدند. این تغییرات نسبت به تغییرات سدیم کلرید بسیار شدیدتر بود. اما در ژنوتیپ حله تغییر محسوسی مشاهده نشد (شکل ۷).

نتایج بررسی‌های آماری نشان داد، در ژنوتیپ قم، قطر دیواره سلول‌های گزیلمی، میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پارانشیمی، قطر لایه پارانشیم ( $p \leq 0.01$ ) و نسبت قطر بزرگ به کوچک در سلول‌های پارانشیمی ( $p \leq 0.05$ )، تحت تاثیر مقادیر مختلف منیزیم تغییرات معنی‌داری را دارد. ژنوتیپ قم در شوری ۲۰۰ میلی-مولار با افزایش غلظت منیزیم، کاهش قطر دیواره سلولی گزیلم‌ها را نشان داد. درحالی‌که در شوری ۸۰۰ میلی مولار، بیشترین قطر در تیمار یک برابر منیزیم مشاهده شد. همچنین فقدان منیزیم به شدت قطر دیواره سلولی گزیلم‌ها را کاهش داد. اما در ژنوتیپ حله تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۸ A,B).

بر اساس تجزیه و تحلیل آماری، میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پارانشیمی و تغییرات قطر لایه پارانشیم نسبت به تغییرات فسفر در ژنوتیپ قم تغییرات معنی‌داری را نشان داد ( $p \leq 0.01$ ). در هر دو ژنوتیپ، قطر دیواره-سلولی گزیلم‌ها تحت تاثیر مقادیر مختلف فسفر تغییرات معنی‌داری را نشان نداد. (شکل ۶ A,B). میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پارانشیم در شوری ۲۰۰ میلی مولار، در ژنوتیپ قم بی‌معنی بود. ولی در شوری ۸۰۰ میلی مولار، تیمار یک‌برابر فسفر تفاوت معنی‌داری نشان داد. اما ژنوتیپ حله در هر دو سطح شوری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۶ C,D). نسبت قطر بزرگ به کوچک در سلول‌های پارانشیمی (شکل ۶ E,F) و استل (شکل ۶ G,H) نیز در هر دو ژنوتیپ، تحت تاثیر مقادیر مختلف فسفر قرارنگرفت و تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در ژنوتیپ قم، در شوری ۲۰۰ میلی مولار افزایش غلظت فسفر، باعث کاهش قطر لایه پارانشیم شد. اما در شوری ۸۰۰ میلی مولار، افزایش فسفر به افزایش قطر لایه پارانشیم کمک کرد. قطر لایه پارانشیم در ژنوتیپ حله با تغییر غلظت فسفر تغییر معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶ I,J).



شکل ۶- تاثیر غلظت‌های مختلف فسفر بر شاخص‌های تشریحی؛ (A) ضخامت دیواره سلول‌های گزلیمی در ژنوتیپ قم و (B) ژنوتیپ حله؛ (C) میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پارانشیمی در ژنوتیپ قم و (D) ژنوتیپ حله؛ (E) نسبت قطر بزرگ به کوچک در سلول‌های پارانشیمی در ژنوتیپ قم و (F) ژنوتیپ حله؛ (G) نسبت قطر بزرگ به کوچک استل در ژنوتیپ قم و (H) ژنوتیپ حله؛ (I) قطر لایه پارانشیمی در ژنوتیپ قم و (J) ژنوتیپ حله ( $p \leq 0.01$ ).

شماره‌ها؛ ۱: نبود فسفر در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ ۲: یک برابر فسفر در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ ۳: سه برابر فسفر در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ ۴: نبود فسفر در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار؛ ۵: یک برابر فسفر در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار؛ ۶: سه برابر فسفر در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار.



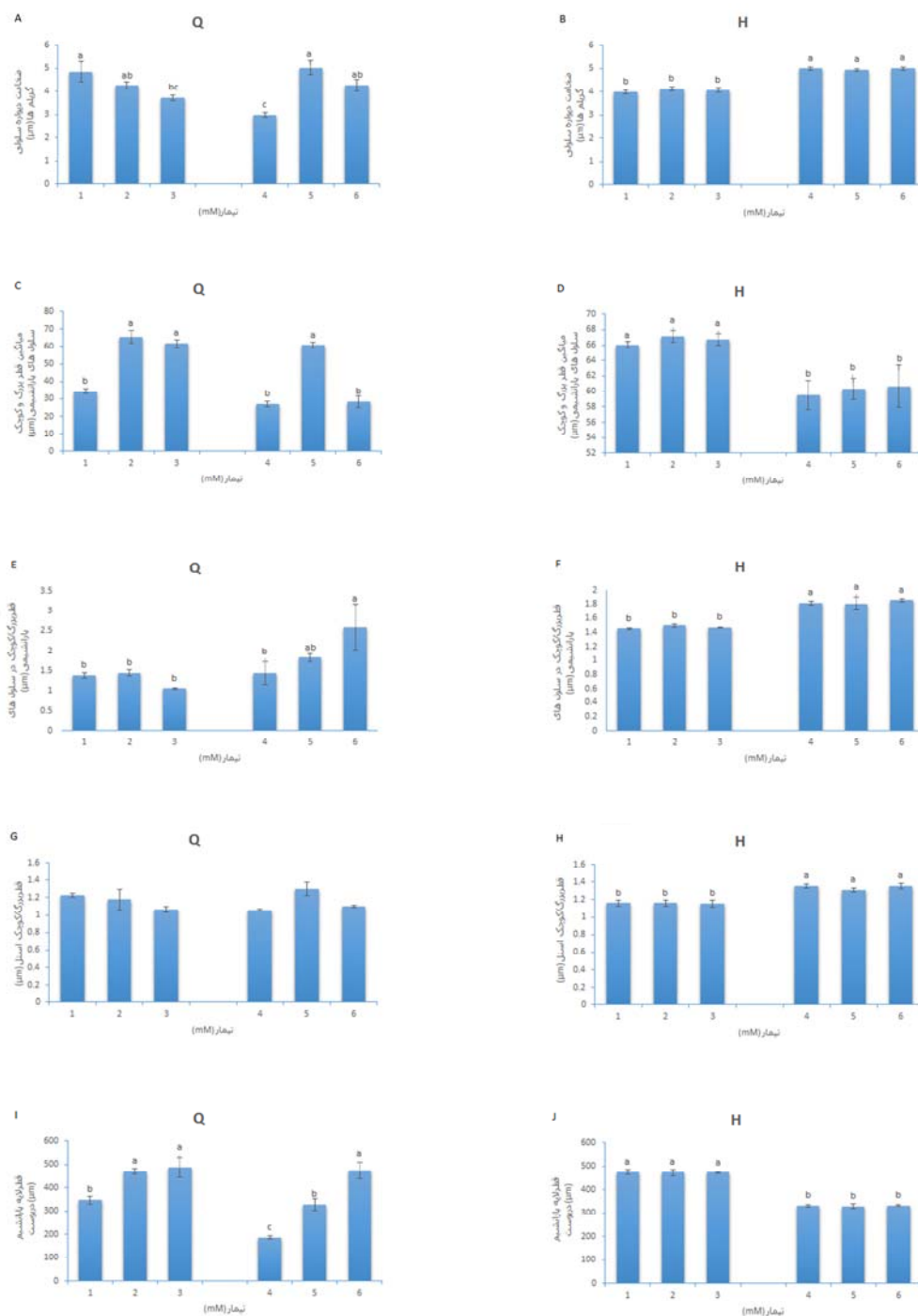
شکل ۷- تاثیر مقادیر بالای منیزیم در مقاطع عرضی ریشه در ژنوتیپ قم؛ (A) نمونه شاهد در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ (B) نمونه شاهد در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار؛ (C و D) پلاسماولیز شدید سلول‌های اپیدرمی و پارانشیمی در تیمار سه برابر منیزیم و شوری ۸۰۰ میلی‌مولار.

### بحث

با توجه به محدودیت شدید منابع آب شیرین در ایران، استفاده از منابع آبی شور و با کیفیت پایین از ضروریات اجتناب‌ناپذیر در توسعه پایدار بخش کشاورزی می‌باشد (۳۷) به همین دلیل، گیاه شورپسند سالیکورنیا با قابلیت تولید محصولات غذایی، دارویی و صنعتی، به‌عنوان پيششناختري‌ترين گیاه شورپسند در ایجاد تولید اقتصادی با حداکثر کار آفرینی در حوزه کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. اغلب مطالعات بر روی گیاهان شورپسند، بر روی نحوه توزیع یونها و تنظیم اسمزی از طریق آن‌ها صورت گرفته‌است (۱۲). طبق مطالعات قبلی، اولین اثر نامطلوب شوری در گیاهان، به‌صورت برهم زدن تعادل یونی بروز می‌کند و از طریق تجمع یون‌های متعادل‌کننده و مولکول‌های آلی قطبی می‌توان تاحدی با آن مقابله کرد (۱۵). در این پژوهش عنصر فسفر به‌عنوان عنصری مهم در رشد گیاه مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، در ژنوتیپ قم در هر سه سطح شوری، افزایش فسفر با کاهش وزن تر و خشک گیاه همراه شد. البته در شوری صفر میلی‌مولار افزایش فسفر اثر مثبت‌تری نسبت به شوری ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار نشان داد. اما در ژنوتیپ حله تیمار یک برابر فسفر باعث رشد بهتر گیاهان شد. مقادیر بالاتر فسفر همچنان مهارکننده رشد بود و با افزایش مقدار فسفر طول ریشه گیاهان نیز کاهش یافت.

در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار با افزایش غلظت منیزیم، میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پارانشیمی در ژنوتیپ قم افزایش یافت. اما در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار تیمار یک برابر منیزیم بیشترین میانگین را نشان داد. ژنوتیپ حله با تغییر غلظت منیزیم تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۸). در ژنوتیپ قم، نسبت قطر بزرگ به کوچک سلول- (C,D). در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اما در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، با افزایش غلظت منیزیم، این نسبت افزایش یافت. ژنوتیپ حله تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۸ E,F). نسبت قطر بزرگ به کوچک استل در هر دو ژنوتیپ بی‌معنی بود (شکل ۸ G,H). در ژنوتیپ قم در هر دو سطح شوری با افزایش غلظت منیزیم، افزایش قطر لایه پارانشیم مشاهده شد. اما ژنوتیپ حله تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۸ I,J).

شماره ها؛ تیمار ۱: نبود منیزیم در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ تیمار ۲: یک برابر منیزیم در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ تیمار ۳: سه برابر منیزیم در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار؛ تیمار چهار: نبود منیزیم در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار؛ تیمار پنج: یک برابر منیزیم در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار؛ تیمار شش: سه برابر منیزیم در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار.



شکل ۸- تاثیر غلظت‌های مختلف منیزیم بر شاخص‌های آناتومیکی؛ (A) ضخامت دیواره سلول‌های گزلیمی در ژنوتیپ قم و (B) ژنوتیپ حله؛ (C) میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پارانشیمی در ژنوتیپ قم و (D) ژنوتیپ حله؛ (E) نسبت قطر بزرگ به کوچک در سلول‌های پارانشیمی در ژنوتیپ قم و (F) ژنوتیپ حله، (G) نسبت قطر بزرگ به کوچک استل در ژنوتیپ قم و (H) ژنوتیپ حله؛ (I) قطر لایه پارانشیمی در ژنوتیپ قم و (J) ژنوتیپ حله؛ به جز مورد E ( $p \leq 0.05$ )، همه موارد ( $p \leq 0.01$ ) است.



لیگاز و بازآرایی اسکلت سلولی دخیل است (۴۵). از این رو، در نبود منیزیم، تقسیم سلولی مهار شده و در نتیجه طول و زیست توده ریشه کاهش می‌یابد. همچنین طبق مطالعات حاضر، برای پرورش ژنوتیپ حله تیمار یک برابر منیزیم و ژنوتیپ قم تا سه برابر منیزیم می‌تواند مفید باشد. زیرا منیزیم با سدیم رابطه متضاد داشته و می‌تواند اثرات سمی سدیم را کاهش دهد (۲۸).

طبق مشاهدات تشریحی، تمایز بافت‌های ریشه از مریستم راسی ریشه صورت می‌گیرد. در زیر این ناحیه، ریشه به سرعت طویل شده و پروتوگزیلم‌ها همراه با تکمیل فرایند طویل‌شدگی، بالغ می‌شوند. همچنین نوارکاسپاری در سلول‌های آندودرمی قبل از بلوغ پروتوگزیلم‌ها و عموماً قبل از ظهور تارهای کشنده ایجاد می‌شود (۱۳). که با مشاهدات حاضر در سالیکورنیا مطابقت دارد. با رشد گیاه دستجات آوندی به سرعت گسترش یافتند. همچنین در قسمت پوست ریشه، آثرانثیم‌ها در قسمت‌های نزدیک به نوک ریشه تشکیل شد. از آنجایی که سالیکورنیا یک گیاه باتلاقی است، حضور آثرانثیم‌ها برای حفظ ریشه گیاه ضروریست که با مطالعات Grigore و Toma (۲۰)، (۲۰۰۷) Narasimha-Rao و Murty (۳۳)، (۲۰۱۳) هم سویی دارد. با نزدیک شدن به قاعده ریشه، به ترتیب فیبرها و بافت‌های ثانویه شروع به تشکیل کرده و گسترش می‌یابند. چوب و آبکش اولیه با الگوی حلقه‌ای به صورت ۶ دسته آوندی تشکیل شد که با مشاهدات Narasimha-Rao و Murty (۲۰۱۳) مطابقت داشت (۳۳). همچنین در میان سلول‌های گزیلمی، پارانشیم چوب تشکیل شد. گزیلم‌ها از نوع دی‌آرش بود و به خوبی قابل تشخیص و متمایز بودند (۲۴).

همچنین تاثیر تیمارهای (NaCl, P, Mg) بر روی قسمت‌های مختلف ریشه هر دو ژنوتیپ از گیاه *Salicornia Spp.* مورد بررسی قرار گرفت. تیمار شوری اثر مشابهی در هر دو ژنوتیپ نشان داد، اما سایر تیمارها فقط بر روی ژنوتیپ

طبق مطالعات خوش خلق سیما و همکاران (۲۰۱۸) بر روی گیاه *S. persica*، استفاده از فسفات می‌تواند یک راه افزایش‌دهنده زیست توده در خاک‌های شور باشد (۲۵). همچنین Brown و همکاران (۱۰)، (۲۰۰۶) و Aghaleh و همکاران (۱)، (۲۰۱۱) محدودیت رشد *Salicornia spp.* در خاک‌های شور با کمبود فسفر گزارش کردند. از آنجا که شوری باعث کاهش محتوای فسفر در گیاهان می‌شود (۲۵) در شوری صفر میلی‌مولار، با افزایش فسفر، وزن تر و خشک گیاه تا حدی افزایش یافت ولی در شوری ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار، افزایش فسفر تاثیری بر افزایش وزن تر و خشک گیاهان نداشت. زیرا گیاه دچار کمبود انرژی و برهم خوردن هموستازی یونی می‌شود (۱). از طرفی، در این پژوهش از ترکیب  $NH_4H_2PO_4$  به‌عنوان تیمار فسفر استفاده شد. به نظر می‌رسد اثر سمی آمونیوم موجود مانع افزایش زیست توده گیاهان در حضور تیمار فسفر شده است. در صورتی که در کارهای مشابه از ترکیباتی همچون  $KH_2PO_4$  استفاده شده است (۲۵). از آنجا که ژنوتیپ حله پاسخ بهتری به تیمار آمونیوم نشان داد بنابراین رشد بهتری در تیمار یک برابر فسفر در محیط ارائه داد. بنابراین ترکیب  $KH_2PO_4$  به‌عنوان منبع فسفر برای ژنوتیپ قم توصیه می‌شود ولی ژنوتیپ حله قادر به استفاده از هر دو ترکیب می‌باشد.

طبق نتایج به‌دست آمده، در هر سه سطح شوری، با افزایش منیزیم، وزن تر و خشک گیاهان در ژنوتیپ قم افزایش یافت. ژنوتیپ حله بیشترین میزان وزن تر و خشک را در تیمار یک برابر منیزیم نشان داد. همچنین طول ریشه در نبود منیزیم، در هر دو ژنوتیپ به شدت کاهش یافت. طول ریشه‌های گیاه *S. brachiata* نیز در در کمبود منیزیم کاهش یافت. در اغلب گیاهان چه هالوفیت‌ها و چه گلائیکوفیت‌ها، کمبود منیزیم باعث کاهش رشد ریشه می‌شود (۸). منیزیم فاکتور کلیدی تنظیم مراحل مختلف تقسیم سلولی است و در سنتز پروتئین‌های لازم برای تقسیم سلولی، همانندسازی DNA، عملکرد آنزیم پلی‌مراز،

سیگنال در تنظیم تمامیت دیواره سلولی عمل می‌کند (۳۲). در آرابیدوپسیس، کمبود فسفر ضخامت دیواره سلولی اولیه و رسوب کالوز در اطراف پلاسمودسماتا را افزایش می‌دهد (۳۹). همچنین در نبود فسفر، برخی از سلول‌های آندودرمی دفرمه شده و شکل طبیعی خود را از دست دادند و دستجات فیبر زودتر از موعد به دور دستجات آبکش شروع به تشکیل کرد. به نظر می‌رسد، غلظت بالای سدیم و نبود فسفر به شدت بر بقای گیاه تاثیر گذاشته و گیاه برای حفظ حیات خود، شروع به توسعه زود هنگام بافت‌های استحکامی از جمله فیبرها کرده است. همچنین نبود فسفر در غلظت بالای سدیم، بر روی کانال‌های یونی در سلول‌های معبر اثر گذاشته و بر اثر بر هم خوردن هموستازی یونی سبب تغییر شکل آن‌ها شد.

با به‌کارگیری منیزیم، سلول‌های پاراننشیمی و اپیدرمی به شدت تغییر شکل دادند. همچنین قطر دیواره گزیم‌ها با افزایش منیزیم تغییر یافت. میانگین قطر بزرگ و کوچک سلول‌های پاراننشیمی، قطر لایه پاراننشیم، نسبت قطر بزرگ به کوچک با افزایش منیزیم به صورت معنی‌داری افزایش یافت. طبق بررسی‌های انجام شده، اطلاعات بسیار محدودی در زمینه تاثیر منیزیم بر آناتومی ریشه گیاهان وجود دارد. اما یک سری اطلاعات درباره عناصر مشابه موجود است. طبق مطالعات صورت گرفته، کمبود عناصر آهن، روی و منگنزاز طریق هورمون اتیلن سبب کاهش سوپرینی شدن می‌شود (۷). همچنین عنصر مس، اثر مثبتی بر روی سنتز لیگنین دارد (۳۸). عنصر بور و روی نیز، در غلظت‌های بالا محرک سنتز لیگنین هستند (۱۶،۴۲). به نظر می‌رسد، پاسخ دوگانه سالیکورنیا به افزایش منیزیم در شوری ۲۰۰ و ۸۰۰ مربوط به برهم‌کنش منیزیم و سدیم است. با افزایش غلظت سدیم این برهم‌کنش تغییر کرده و پاسخ‌های متفاوتی ارائه می‌شود. همچنین افزایش منیزیم در شوری‌های بالا هموستازی یونی را برهم‌زده و سلول‌های پاراننشیمی دچار پلاسمولیز و دفرمگی می‌شوند.

قم تغییرات محسوسی را نشان داد. طبق مشاهدات به‌دست آمده، تحت تاثیر تیمار سدیم کلرید سلول‌های پاراننشیمی پوست و اپیدرم به شدت دفرمه شدند. همچنین با افزایش شوری قطر لایه پاراننشیم کاهش و نسبت قطر بزرگ و کوچک در سلول‌های پاراننشیمی افزایش داشت. که با مطالعات Akein و همکاران (۲۰۱۷) بر روی گیاه *S. feritagii* مطابقت داشت (۲). برخی ویژگی‌ها همچون ضخامت پاراننشیم، طول و عرض بافت ذخیره‌کننده آب، می‌تواند در سازگاری با شرایط شوری در این گیاهان مفید باشد (۲). ضخامت دیواره گزیم‌ها نیز با افزایش شوری افزایش یافت. به نظر می‌رسد این افزایش ضخامت دیواره به‌عنوان یک سازوکار سازگار با شوری عمل کرده و منجر به باریک شدن گزیم‌ها می‌شود. این کاهش قطر، احتمال آمبولی شدن در زیستگاه‌های شور را کاهش می‌دهد (۲۶،۹).

طبق نتایج این پژوهش، نبود فسفر در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار باعث چوبی شدن ناپیوسته لایه‌های آندودرمی شد. البته در تیمار ۳ برابر فسفر و شوری ۸۰۰ میلی‌مولار نیز چوبی شدن آندودرم به صورت پیوسته مشاهده شد. طبق مطالعات صورت گرفته، کمبود فسفر کاهش سوپرینی شدن و افزایش سلول‌های معبر در آندودرم را تحریک می‌کند (۶). بنابراین در نبود فسفر در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار، لایه آندودرم به صورت متقاطع لیگنینی و سوپرینی شد ولی در تیمار ۳ برابر فسفر در شوری ۸۰۰ میلی‌مولار لایه آندودرم تقریباً به‌طور کامل لیگنینی و سوپرینی شد. این تغییرات از طریق هورمون آبسزیک اسید و اتیلن تنظیم می‌شود. بدین صورت که در کمبود فسفر، هورمون اتیلن بیان ژن‌های مربوط به سوپرینی شدن را مهار می‌کند. همچنین در مقادیر بالای فسفر، هورمون آبسزیک اسید سوپرینی شدن در راس ریشه را افزایش می‌دهد (۷،۳۵). افزایش فسفر در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، همراه با افزایش قطر لایه پاراننشیم بود اما شوری ۸۰۰ میلی‌مولار نتیجه عکس نشان داد. طبق مطالعات Muller و همکاران (۲۰۱۵)، کمبود فسفر به‌عنوان یک

## نتیجه‌گیری

کمتری را از خود بروز می‌دهد. با این حال، هردو ژنوتیپ تحت‌تاثیر تیمار یک برابر (محلول هوگلند پایه) بیشترین میزان رشد خود را بروز دادند. بنابراین باتوجه به رنج تغییرات بین حساسترین ژنوتیپ و متحمل‌ترین ژنوتیپ، میتوان یک فرمول کلی برای بهترین حالت رشد، برای تمام ژنوتیپ‌های سراسر ایران ارائه داد.

## تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران و دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است. همچنین از خانم زهرا حصارخانی برای همکاری در انجام برشهای تشریحی و تهیه مقاطع میکروسکوپی ریشه تشکر می‌شود.

امروزه، با توجه به مشکلات ناشی از پدیده رو به گسترش شوری و بحران کمبود آب‌های شیرین در سراسر جهان، گیاهان هالوفیت توجه افراد زیادی را به خود جلب کرده‌اند. به همین دلیل، بررسی رشد و تکوین ژنوتیپ‌های مختلف گیاه سالیکورنیا، به‌عنوان هالوفیتی با ارزش‌های بالای غذایی، دارویی، صنعتی ارزش بالایی میابد. ژنوتیپ قم به عنوان ژنوتیپ حساس‌تر، تغییرات آناتومی و مورفولوژی بیشتری را نشان داد. با وجود اینکه این ژنوتیپ، از تولید خوبی برخوردار است؛ اما آستانه تحمل کمتری داشته و بیشتر تحت تاثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد. ژنوتیپ حله با وجود تولید نسبتاً کمتر، تحمل بیشتری داشته و تغییرات مورفولوژی و به‌ویژه آناتومی

## منابع

- 1- Aghaleh M, Niknam V, Ebrahimzadeh H, Razavi K. 2011. Effect of salt stress on physiological and antioxidative responses in two species of *Salicornia* (*S. persica* and *S.europaea*). *Acta Physiologiae Plantarum* 33, 1261–1270.
- 2- Akin TA, AKIN A, Yalcin E. 2017. Anatomical changes induced by salinity stress in *Salicornia freitagii* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany* 40, 1013–1018.
- 3- Akram M, Akhtar S, Javed IH, Wahid A, Rasul E. 2002. Anatomical attributes of different wheat (*Triticum aestivum*) accessions/varieties to NaCl salinity. *International Journal of Agriculture and Biology* 4,166–168.
- 4- Amiri B, Assareh MH, Jaffari M, Rasuoli B, Arzani H, jaffari AA. 2010. Effect of salinity on growth, ion content and water status of glasswort (*Salicornia herbacea* L.). *Environmental Sciences* 1,79-87.
- 5- Amirbakhtiar N, Ismaili A, Ghaffari MR, Shobbar ZS. 2016. Transcriptome response of root to saltstress in a salinity tolerant bread wheat cultivar. *PLOS ONE* 14(3): e0213305.
- 6- Andersen TG, Naseer S, Ursache R, Wybouw B, Smet W, de Rybel B, Vermeer JEM, Geldner N. 2018. Diffusible repression of cytokinin signalling produces endodermal symmetry and passage cells. *Nature* 555, 529–533.
- 7- Barberon M, Vermeer JEM, Bellis DD, Wang P, Nasser S, Andersen TG, Humbel BM, Nawrath C, Takano J, Salt DE, Geldner. 2016. Adaptation of Root Function by Nutrient-Induced Plasticity of Endodermal Differentiation. *Cell* 164, 447–459.
- 8- Bilard V, Maillard A, Coquet L, Jouenne T, Cruz f, Garcia- Mina JM, Yvin JC, Ourry A, Etienne P. 2016. Mg deficiency affects leaf Mg remobilization and the proteome in *Brassica napus*. *Plant Physiology and Biochemistry* 107,337-343.
- 9- Boughalleb F, Denden M, Ben TB. 2009. Anatomical changes induced by increasing NaCl salinity in three fodder shrubs, *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*. *Acta Physiologiae Plantarum* 310, 947–960.
- 10- Brown C, Pezeshki S, DeLaune R. 2006. The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system. *Environmental and Experimental Botany* 58, 140–148.
- 11- Choat B, Ball MC, Luly JG, Holtum JAM. 2005. Hydraulic architecture of deciduous and evergreen dry forest tree species from north-eastern Australia. *Trees (Berl)* 19, 305–311.
- 12- Davy AJ, Bishop GF, Costa CSB. 2001. *Salicornia* L. (*Salicornia pusila* J. Woods, *S. ramosissima* woods, *S. europaea* L., *S. obscura*

- PW Ball and Tutin, *S. fragilis* PW Ball and Tutin and *S. dolichostachya* Moss). Ecology 89,681-707.
- 13- Fahn A. 1916. Plant anatomy. 4th ed. Published by Pergamon, 1990. USA.
- 14- Flowers T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. Experimental Botany 55, 307-319.
- 15- Ghaffari MR, Ghabooli M, Khatabi B, Hajirezaei MR, Schweizer P, Hosseini Salekdeh GH. 2016. Metabolic and transcriptional response of central metabolism affected by root endophytic fungus *piriformospora indica* under salinity in barley. Plant molecular biology 90(6): 699-717.
- 16- Ghanati F, Morita A, Yokota H. 2005. Deposition of suberin in roots of soybean induced by excess boron. Plant Science 168, 397-405.
- 17- Glenn E, Lwary WO, Corolyn W. 1991. *Salicornia bigelovii* Torr: An oilseed Halophyte for *Salicornia bigelovii* planting density and soil residue amendment. Plant soil 1, 23-32.
- 18- Glenn E, Lewis T, Moore D. 1994. Synthesis of selected research results on *Salicornia bigelovii*, proceeding of halophytes. Halophyte Enterprises: Kino Bay Conference, Sonara, Mexico, 1-97.
- 19- Glene E, Hicks N, Riley J. 1995. Seawater irrigation of Halophytes for Animal Feed. In: Halophytea and Biosalin Agriculture, Glenn E. (Ed). Marcel Dekker, New York, 221.
- 20- Grigore MN, Toma C. 2008. Ecological anatomy investigation related to some halophyte species from Moldovia. Plant Biol 53, 23-30.
- 21- Hacke UG, Sperry JS, Wheeler JK, Castro L. 2006. Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. Tree Physiology 26, 689-701.
- 22- Hilo A, Shahinnial F, Druege U, Franken P, Melzer M, Rutten T, Wirén NV, Hajirezaei MR. 2017. A specific role of iron in promoting meristematic cell division during adventitious root formation. Journal of Experimental Botany 15,4233-4247.
- 23- Hoagland DR, Arnon DI. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station 347. 2nd edit pp. 32 pp.
- 24- Keshavarzi M, Zare G. 2006. Anatomical study of *Salicornieae Dumort.* (Chenopodiaceae Vent.). International Journal of Botany 3, 278-285.
- 25- Khoshkholgh sima NA, Reiahi Samani N, Ebadi A, Ghaffari MR. 2019. Effects of calcium and phosphorus enrichment on yield and physiological characteristics of *Salicornia persica* under different salinity levels. Plant Nutrition 42, 971-981.
- 26- Kozłowski TT. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiological Monographs 1, 1-29.
- 27- Kudo N, Fujiyama H. 2010. Responses of Halophyte *Salicornia bigelovii* to Different Forms of Nitrogen Source. Pedosphere 3, 311-317.
- 28- Miura K. 2013. Nitrogen and phosphorus nutrition under salinity stress. Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress, 425-441.
- 29- Mudie PJ, Brakel GS, Schinkel JDJH, Peterson-Welsh C, Margaret RS, Shado TNJ, Rosalie MW. 2005. Forensic palynology and ethnobotany of *Salicornia* species (Chenopodiaceae) in Northwest Canada and Alaka. Canadian Journal of Botany 83,111-123.
- 30- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environment 25, 239-250.
- 31- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Plant Biol 59, 651- 681.
- 32- Müller J, Toev T, Heisters M, Teller J, Moore KL, Hause G. 2015. Iron-dependent callose deposition adjusts root meristem maintenance to phosphate availability. Development Cell 33, 216-230.
- 33- Narashima Rao GM, Prayaga Murty p. 2013. Morphological and Anatomical features of *Salicornia brachiata* Roxb. Biological and Chemical Research 2, 887-891.
- 34- O'Brien TP, Feder N, McCully ME. 1964. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. Protoplasma 59:368-373.
- 35- Ogden M, Hoefgen R, Roessner U, Persson S, Abbas Khan GH. 2018. Feeding the Walls: How Does Nutrient Availability Regulate CellWall Composition? Molecular Science 19, 2691.
- 36- Polic D, Lukovic J, Zorici L, Boza P, Merkulov L, Knezevic A. 2009. Morpho-anatomical differentiation of *Suaeda maritima* (L.) Dumort. (Chenopodiaceae) populations from inland and maritime saline area. Central European Journal of Biology 4,117-129.
- 37- Reiahisamani N, Esmaeili M, Khoshkholgh sima NA, Zaefarian F, Zeinalabedini M. 2018.



- Assessment of the oil content of the seed produced by *Salicornia* L., along with its ability to reduce forage in saline soils. *Genet Resour Crop Evolution* 65, 1879–1891.
- 38- Robson AD, Hartley RD, Jarvis SC. 1981. Effect of copper deficiency on phenolic and other constituents of wheat cell walls. *New Phytologist* 89, 361–371.
- 39- Shahzad Z, Amtmann A. 2017. Food for thought: How nutrients regulate root system architecture. *Current Opinian Plant Biology* 39, 80–87.
- 40- Shabala S, Mackay A. 2011. Chapter 5 - Ion Transport in Halophytes. *Advances in Botanical Research*, 151-199.
- 41- Shokri, S., Maadi, B. 2009. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on the mineral nutrition and yield of *Trifolium alexandrinum* plants under salinity stress. *Journal of Agronomy* 8: 79–83.
- 42- van de Mortel JE, Villanueva LA, Schat H, Kwekkeboom J, Coughlan S, Moerland PD, van Themaat EVL, Koornneef M, Aarts MGM. 2006. Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiology* 142, 1127–1147.
- 43- van Schilfgaarde J. 1994. Irrigation—a blessing or a curse. *Agriculture Water Manage* 25, 203–219.
- 44- Wahid A. 2003. Physiological significance of morpho-anatomical features of halophytes with particular reference to Cholistan flora. *International Journal of Agriculture and Biology* 5, 207–212.
- 45- Wolf FI, Trapani V. 2008. Cell (patho) physiology of magnesium. *Clinical science* 114, 27–35.

## Effect of Phosphorus and Magnesium Treatment on Root Structure of *Salicornia* spp. under salinity condition

Moatabarniya S.<sup>1</sup>, Chehregani Rad A.<sup>1\*</sup>, Ghaffar M.R.<sup>2\*</sup> and Azam Khoshkholgh Sima N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Biology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran

<sup>2</sup> Dept. of Systems and Synthetic Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, I.R. of Iran

<sup>3</sup>Dept. of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, I.R. of Iran

### Abstract

Due to the severe limitations of fresh water in Iran, the use of low-quality saline water resources is an inevitable necessity in development of sustainable agriculture. One of the ways to deal with climate change is to use the potential of halophyte plants such as *Salicornia* for the economic utilization of saline soils. In this study, two genotypes of *Salicornia* (Qom, sensitive to salinity and Helleh, tolerant to salinity) were hydroponically treated with salinity and different concentrations of phosphorus (P) and magnesium (Mg). The aim of this study was to investigate the role of these two elements on growth factors and morphological and anatomical characteristics in *Salicornia* under the salinity treatments. The results showed that at 0 mM salinity, P could stimulate growth in both genotypes. But at 200- and 800- Mm salinity, had a negative effect on growth parameters. Increasing the concentration of Mg at all three salinity levels (0, 200, 800 mMol) improved growth in both genotypes. Also, the lack of P in 200 and 800 mM salinities affected the plant anatomy and caused lignification areas in the endoderm and increased diameter in the cell wall of the xylem. In addition, a 3-fold concentration of Mg at 800 mM salinity severely deformed and plasmolyzed epidermal and parenchymal cells. Overall, these studies showed that a one-fold treatment of Mg and P provides the best conditions for the growth of *Salicornia*.

**Key words:** Morphological responses, Anatomical characteristics, Halophyte, Salinity, Nutrient elements