مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۵ شماره ۲ صفحه‌های ۱۹۷ تا ۲۱۰ (۱۴۰۳)
مقاله پژوهشی

تأثیر سیلیکون بر ویژگی‌های رشدی و فتوسنتزی پایه‌های دو رَگ هلو و بادام (*Prunus persica*×*Prunus amygdalus*) GF677 و GN15 در شرایط تنش شوری

Effect of Silicon on Growth and Photosynthetic Characteristics of Peach and Almond Hybrid (*Prunus persica* × *Prunus amygdalus*) GF677 and GN15 Rootstocks under Salinity Stress

پویا غربی[۱]، جعفر امیری[۱*]، ناصر مهنا[۲]، لطفعلی ناصری[۱]، میرحسن رسولی صدقیانی[۳]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران
۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران
*نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (j.amiri@urmia.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۶

چکیده

در این پژوهش به بررسی اثر کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری بر برخی شاخص‌های رشدی و فتوسنتزی پایه‌های دورگ هلو و بادام GF677 و GN15 در محیط کشت هیدروپونیک پرداخته شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور، شامل پایه در دو سطح (GF677 و GN15)، تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و تیمار سیلیکون در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. بر اساس نتایج این پژوهش، تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد باعث کاهش تعداد برگ به میزان ۳۸/۶ درصد در پایه GF677 و ۵۳/۲ درصد در پایه GN15، کاهش رشد طولی ساقه به میزان ۴۰/۱ درصد در پایه GF677 و ۵۳/۸ درصد در پایه GN15 شد. همچنین تنش شوری باعث کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص تبادلات گازی در پایه‌های مورد بررسی شد. استفاده از سیلیکون منجر به بهبود شاخص‌های سنجش شده در هر دو پایه‌ی مورد مطالعه شد. به‌طور کلی، یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان داد که سیلیکون و به ویژه غلظت ۲ میلی‌مولار آن، می‌تواند تحمل بیش‌تری نسبت به تنش شوری در پایه‌های مورد مطالعه ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی: تعداد برگ، کلروفیل، کارتنوئید، هدایت روزنه‌ای، تعرق.

مقدمه

شوری خاک عامل مهمی است که مانع از توسعه کشاورزی می‌شود. شوری حدود ۲۰ درصد از زمین‌های قابل کشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش مواد آلی خاک، استفاده‌ی بی‌رویه از کودهای شیمیایی، آبیاری غیراصولی، کاهش میزان بارندگی، آلودگی‌های صنعتی و میزان بالای تبخیر آب خاک، همگی سبب ایجاد شوری ثانویه، در خاک‌های کشاورزی می‌شوند. اگر شور شدن خاک به همین روال ادامه پیدا کند، تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد از اراضی قابل کشت، شور خواهد شد (Rachappanavar *et al.*, 2024). شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی، فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را در گیاهان تحت تأثیر قرار داده و سبب کاهش رشد و بهره‌وری گیاهان می‌شود. زمانی‌که گیاهان در شرایط تنش شوری قرار می‌گیرند، جذب آب دچار مشکل می‌شود که برهم خوردن روابط آبی گیاه، ممانعت از بزرگ شدن سلولی و کاهش فعالیت روزنه‌ها، از جمله اثرات سوء آن است (Dabravolski and Isayenkov, 2024). افزایش ورود یون‌های کلرید و

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

سدیم به گیاه که در تنش شوری اتفاق می‌افتد، سبب ایجاد تنش‌های یونی و اکسیداتیو شده و تمام جنبه‌های رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تجمع نمک سبب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، اختلال در فعالیت آنزیم روبیسکو و تخریب دستگاه فتوسنتزی می‌شود (Zhang *et al*., 2024).

سیلیکون دومین عنصر فراوان در پوسته‌ی زمین است. سیلیکون یک عنصر غیر ضروری برای گیاهان عالی است، اما گزارش‌های بسیاری حاکی از نقش مثبت آن در تعدیل تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان عالی می‌باشد (Rachappanavar *et al*., 2024). مکانیسم عمل سیلیکون که سبب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها می‌شود، شامل بهبودهای فیزیولوژیکی، از جمله افزایش رشد گیاه، بهبود شرایط تغذیه، بهبود کارآیی فتوسنتزی، تعادل هم‌ایستایی یونی، فعال‌سازی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، القای متابولیت‌های ثانویه‌ی مرتبط با تنش و نهایتاً تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است (Zhu *et al*., 2019). سیلیکون با حفظ میزان فتوسنتز، سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد تولید شده و تنظیم جذب عناصر غذایی، اثرات مضر تنش شوری بر گیاهان را کاهش می‌دهد (Rachappanavar *et al*., 2024). در مطالعه‌ای که بر روی گیاهان سیب رقم فوجی پیوند شده روی پایه‌ی M9 انجام گرفت، تیمار سیلیکون با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار در شرایط تنش شوری با غلظت ۳۵ میلی‌مولار کلرید سدیم و به‌مدت ۴ ماه، با افزایش هدایت روزنه‌ای، میزان کلروفیل و نیز کاهش نشت الکترولیت‌ها، سبب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان شد (Aras, 2020). در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از سیلیکون با غلظت ۲ میلی‌مولار در نهال‌های یک‌ساله انگور در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، باعث بهبود شاخص‌های رشدی، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، بهبود شاخص‌های مرتبط با تبادلات گازی و افزایش قند محلول شد (Qin *et al*., 2016). Mahmoud و همکاران (2022) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون در افزایش مقاومت به تنش شوری پرتقال والنسیا تأثیر به‌سزایی داشته و باعث بهبود شاخص‌های رشدی و روابط آبی، افزایش میزان کلروفیل و کاهش خسارت ناشی از تنش شوری در گیاهان شد.

پایه‌ها از اجزای ضروری در میوه‌کاری مدرن هستند که برای سازگاری ارقام میوه با شرایط محیطی و رشدی مختلف به کار گرفته می‌شوند (Shahvali *et al*., 2020). همچنین، استفاده از پایه‌های متحمل به شوری جهت پیوند ارقام می‌تواند به شکلی مؤثر سبب کاهش خسارت شوری و نیز استفاده‌ی حداکثری از منابع خاکی شود (Zhang *et al*., 2024). پایه‌های GF677 و GN15 از پایه‌های مهم و اقتصادی هیبرید هلو و بادام هستند که به‌عنوان پایه برای ارقام مختلف این میوه‌ها به کار برده می‌شوند. GF677 یک دانهال تصادفی است که در اواسط ۱۹۴۰ در فرانسه کشف شد و به‌عنوان نخستین هیبرید هلو و بادام در سطح تجاری تولید شد. این پایه از قدرت رشد خوبی برخوردار بوده، به زردی ناشی از کمبود آهن مقاوم است و عملکرد بالایی را در رقم پیوندی سبب می‌شود. پایه GN15 از تلاقی بادام اسپانیایی گرَفی[1] به‌عنوان والد مادری و هلوی نمارد به‌عنوان والد گرده‌دهنده حاصل شده است. به لحاظ قدرت رشد و عملکرد قابل مقایسه با پایه‌ی GF677 بوده و به زردی ناشی از کمبود آهن نیز متحمل می‌باشد (Felipe, 2009).

با وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه‌ی نقش سیلیکون در تحمل تنش شوری در گیاهان مختلف و به‌شکل محدودتری در پایه‌های درختان میوه، تاکنون مطالعه‌ای در مورد نقش سیلیکون بر پایه‌های GF677 و GN15 تحت تنش شوری انجام نگرفته است. بر این مبنا، پژوهش حاضر به بررسی این مسئله می‌پردازد که در شرایط تنش شوری، کاربرد سیلیکون چه اثراتی بر شاخص‌های رشدی و تبادلات گازی پایه‌های GF677 و GN15 می‌تواند داشته باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در گلخانه‌ی تحقیقاتی علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، با رطوبت نسبی۴۰ تا ۶۰ درصد و دمای روز ۲±۲۷ و دمای شب ۲±۱۷، انجام گرفت. دانهال‌های حاصل از کشت بافت پایه‌های

۱- Grafi

۲- Nemared

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

GF677 و GN15 به گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۶سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر حاوی پرلیت و پیت‌ماس به نسبت حجمی (۱:۱) منتقل شدند و تا زمان شروع آزمایش، تغذیه با محلول غذایی نیم غلظت هوگلند انجام گرفت. بعد از گذشت ۴۵ روز و استقرار ریشه‌ها، گیاهان یکدست برای انجام آزمایش انتخاب شدند. این تحقیق به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۸ تیمار با ۳ فاکتور و ۳ تکرار (در هر تکرار دو گلدان و هر گلدان حاوی یک نهال) انجام شد. فاکتور اول شامل پایه‌ها در دو سطح GF677 و GN15، فاکتور دوم شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) در محلول غذایی و نهایتاً فاکتور سوم سیلیکون در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) در محلول غذایی بود. جهت تأمین عناصر مورد نیاز از محلول غذایی نیم غلظت هوگلند استفاده شد. شوری از منبع کلرید سدیم با درجه‌ی خلوص ۹۹/۵ درصد و سیلیکون نیز از منبع دی‌اکسید سیلیکون با اندزه ذرات کمتر از یک‌دهم میلی‌متر و درجه خلوص ۹۹/۵ درصد بود که هر دو محصول شرکت مِرک بودند. pH محلول غذایی با استفاده از اسید هیدروکلریک یک نرمال در حد ۶/۵ تنظیم شد. جهت ممانعت از شوک ناگهانی به دانهال‌ها، در ابتدا تنش شوری به صورت تدریجی و با غلظت ۲۵ میلی‌مولار در روز تا سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار اعمال شد و از این مرحله به بعد به‌مدت ۶۰ روز، تیمارها اعمال شد. اعمال تیمارها هر سه روز یکبار و به‌نحوی بود که مقدار یک سوم آب از طریق زه‌کش گلدان خارج شود. همچنین، یکبار در هفته نیز عمل آبشویی گلدان‌ها با آب معمولی انجام گرفت تا به این ترتیب از تجمع نمک در گلدان جلوگیری شود.

سنجش تبادلات گازی

صفات مربوط به تبادلات گازی (فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق) در هفته‌ی هشتم و با استفاده از دستگاه سنجش فتوسنتز (Walz, HCM 1000) ساخت کشور آلمان، بر روی جوان‌ترین برگ بالغ در هر گیاه و در حالت اتصال برگ به گیاه انجام گرفت. اندازه‌گیری‌ها بین ساعات ۱۰ صبح تا ۲ بعد از ظهر انجام پذیرفت. در طول مدت اندازه‌گیری، دمای محفظه ۲۰ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و غلظت دی‌اکسیدکربن ۳۵۰ پی‌پی‌ام و میزان جریان ۸۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه بود.

سنجش رنگدانه‌های فتوسنتزی

جهت سنجش رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل‌های a و b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها به‌روش Lichtenthaler (1987) عمل شد. به‌طور خلاصه، ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ‌های بالغ توسعه یافته با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. پس از صاف‌کردن و سانتریوفیوژ مخلوط حاصل، میزان جذب عصاره‌ی فوقانی در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (HALO DB-20 Dynamico) خوانده شد. مقادیر کلروفیل‌های a و b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد.

Chla (mg gFW-1)=(12.7*A663)-(2.69*A645)*V/1000W
Chlb (mg gFW-1)=(22.9*A645)-(4.68*A663)*V/1000W
Chltotal (mg gFW-1)=(20.2*A645)-(8.02*A663)*V/1000W
Carotenoids (mg gFW-1)=(1000*A470)-(1.82*Chla)-(85.02*Chlb)/198

V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A: جذب نمونه در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W: وزن تر نمونه‌ی برگی.

سنجش شاخص‌های رشدی

تعداد برگ‌ها و ارتفاع پایه‌ها در ابتدا و انتهای آزمایش اندازه‌گیری شدند، و به این ترتیب تعداد برگ جدید رشد یافته و میزان رشد طولی ساقه به دست آمد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

واکاوی آماری

آزمایش بصورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل دو گلدان انجام گرفت. فاکتور اول دو پایه‌ی GF677 و GN15، فاکتور دوم شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) در محلول غذایی و نهایتاً فاکتور سوم سیلیکون در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) در محلول غذایی بود. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه‌ی ۹/۴) تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح احتمال پنج درصد و به روش دانکن انجام گرفت. از نرم‌افزار Excel (نسخه‌ی ۲۰۱۶) نیز برای رسم نمودارها استفاده شد.

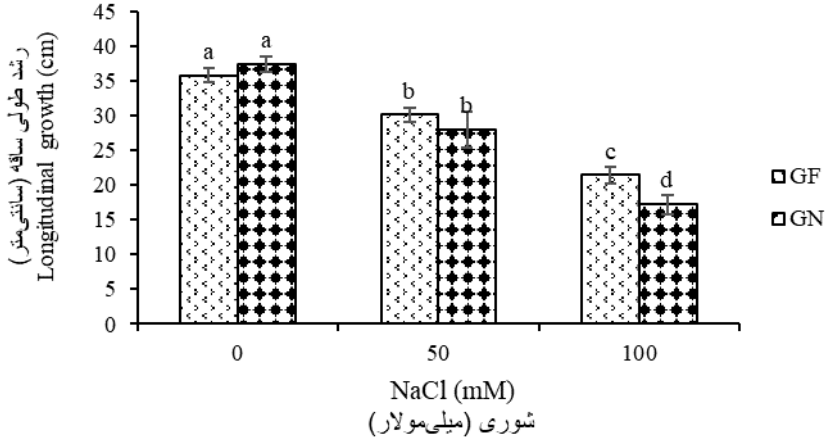
نتایج

رشد طولی ساقه

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پایه و شوری بر رشد طولی ساقه نشان داد که با اعمال تنش شوری از رشد طولی پایه‌ها کاسته می‌شود. کم‌ترین میزان رشد طولی مربوط به پایه‌ی GN15 و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان کاهش رشد طولی در پایه‌ی GN15 نسبت به شاهد ۵۳/۸ درصد و در پایه GF677، ۴۰/۱ درصد بود (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش شوری و سیلیکون نشان داد که اعمال تیمار سیلیکون در شرایط تنش شوری سبب افزایش میزان رشد طولی پایه‌ها می‌شود. در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با ۲ میلی‌مولار سیلیکون، میزان رشد طولی ۳۵/۷۵ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (سیلیکون صفر) بیش‌تر بود (شکل ۲).

تعداد برگ

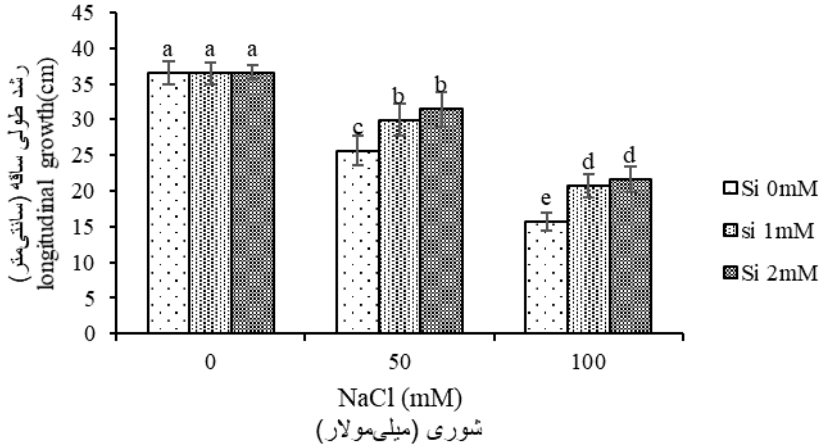
تنش شوری سبب کاهش تعداد برگ تشکیل‌شده در پایه‌ها شد. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار میزان کاهش تعداد برگ تشکیل‌شده نسبت به شاهد در پایه‌های GF677 و GN15 به‌ترتیب ۳۸/۶ و ۵۳/۲ درصد بود (شکل ۳). کاربرد غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار سیلیکون در حالت تنش شوری سبب افزایش تعداد برگ شد (شکل ۴). در سطح شوری صد میلی‌مولار کلرید سدیم کاربرد سیلیکون دو میلی‌مولار سبب افزایش ۴۷/۵ درصدی تعداد برگ نسبت به تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (سیلیکون صفر) شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات پایه و شوری بر رشد طولی ساقه. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

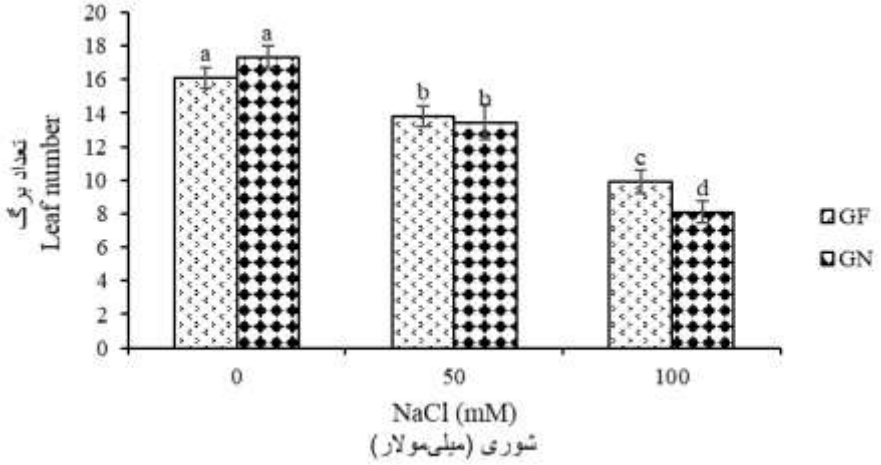
Fig. 1. Comparison of the average interaction effects of rootstock and salinity on plant longitudinal growth. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]



شکل ۲ - مقایسه میانگین برهمکنش اثرات شوری و سیلیکون بر رشد طولی ساقه. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

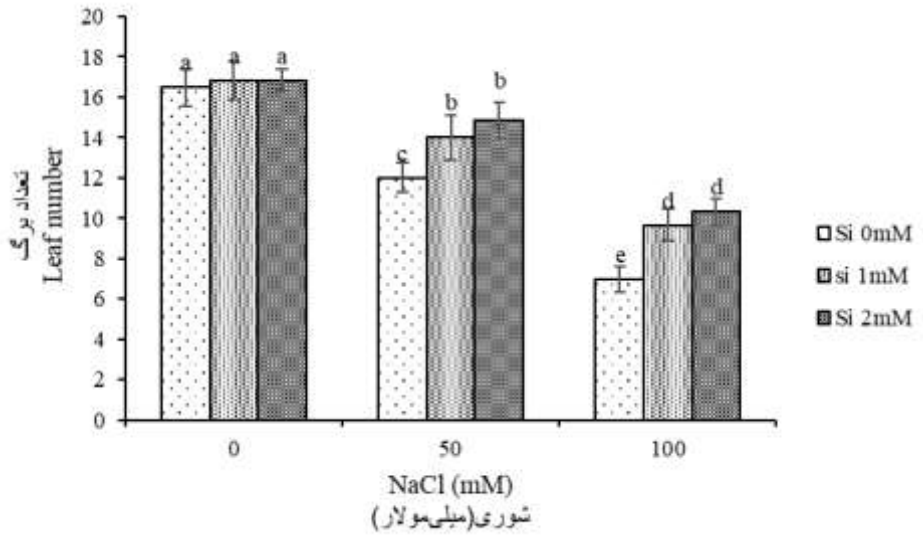
Fig. 2. Comparison of the average interaction effects of salinity and silicon on plant longitudinal growth. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات پایه و شوری بر تعداد برگ. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Fig. 3. Comparison of the average interaction effects of rootstock and salinity on leaf number. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات شوری و سیلیکون بر تعداد برگ. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Fig. 4. Comparison of the average interaction effects of salinity and silicon on leaf number. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پایه و شوری، با اعمال تنش شوری میزان کلروفیل a در هر دو پایه کاهش پیدا کرد، که این کاهش در پایه‌ی GN15 محسوس‌تر بود. میزان کاهش کلروفیل a در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، نسبت به شاهد در پایه‌ی GN15، به‌ترتیب ۱۳/۴ و ۳۷/۶ درصد و در پایه‌ی GF677 به‌ترتیب ۹/۴ و ۳۴/۲ درصد بود (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش شوری و سیلیکون، اعمال تیمار سیلیکون سبب افزایش میزان کلروفیل a در پایه‌های تحت تنش شد که تأثیر غلظت ۲ میلی‌مولار آن بیشتر بود. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، سیلیکون با غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار سبب افزایش ۱۰ و ۱۷/۳ درصدی میزان کلروفیل a نسبت به شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (سیلیکون صفر) شد (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات پایه و شوری بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (میلی‌گرم بر گرم وزن تر).

Table 1. Comparison of the average interaction effects of rootstock and salinity on photosynthetic pigments (mg gFW^{-1})

کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	پایه Rootstock
1.93^{a}	0.74^{b}	0.95^{a}	0	
1.66^{b}	0.61^{c}	0.86^{b}	50	GF677
1.35^{d}	0.56^{e}	0.63^{d}	100	
1.94^{a}	0.75^{a}	0.96^{a}	0	GN15
1.59^{c}	0.58^{d}	0.83^{c}	50	
1.27^{e}	0.51^{f}	0.6^{e}	100	

ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش پایه و شوری با اعمال تنش شوری و افزایش غلظت آن میزان کلروفیل b در برگ هر دو پایه کاهش پیدا کرد. کم‌ترین میزان کلروفیل b مربوط به پایه GN15 و سطح شوری ۱۰۰

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

میلی‌مولار کلرید سدیم بود (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش شوری و سیلیکون، شوری سبب کاهش میزان کلروفیل b و سیلیکون باعث حفظ آن شد. تیمارهای سیلیکون با غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب افزایش ۵/۸ و ۷/۸ درصدی میزان کلروفیل b نسبت به تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (سیلیکون صفر) شد (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پایه و شوری، پایه‌ی GF677 نسبت به کاهش کلروفیل کل در شرایط تنش شوری تحمل بیش‌تری دارد. میزان کاهش کلروفیل کل در پایه‌ی GF677 و در بالاترین سطح شوری ۳۰ درصد، اما در پایه GN15 ۳۴/۵ درصد بود (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش شوری و سیلیکون، اعمال سیلیکون در شرایط تنش سبب افزایش میزان کلروفیل کل شد. بهبود میزان کلروفیل کل با اعمال سیلیکون ۲ میلی‌مولار نسبت به عدم اعمال آن در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب ۵ و ۱۰/۴ درصد بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش شوری و سیلیکون، تنش شوری سبب کاهش میزان کارتنوئیدها شده و اعمال تیمار سیلیکون در شرایط تنش سبب بهبود محتوای کارتنوئید برگ‌ها شده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات شوری و سیلیکون بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (میلی‌گرم بر گرم وزن تر).

Table 2. Comparison of the average interaction effects of salinity and silicon on photosynthetic pigments (mg gFW^{-1})

شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	سیلیکون(میلی‌مولار) Silicon (mM)	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids
	0	0.96^{a}	0.74^{a}	1.93^{a}	0.42^{a}
0	1	0.95^{a}	0.74^{a}	1.91^{a}	0.42^{a}
	2	0.96^{a}	0.73^{a}	1.9^{a}	0.42^{a}
	0	0.82^{c}	0.58^{d}	1.58^{d}	0.33^{cd}
50	1	0.85^{bc}	0.59^{c}	1.63^{c}	0.35^{bc}
	2	0.87^{b}	0.61^{b}	1.66^{b}	0.37^{b}
	0	0.56^{f}	0.51^{g}	1.24^{g}	0.27^{e}
100	1	0.62^{e}	0.54^{f}	1.32^{f}	0.31^{d}
	2	0.66^{d}	0.55^{e}	1.37^{e}	0.33^{cd}

ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

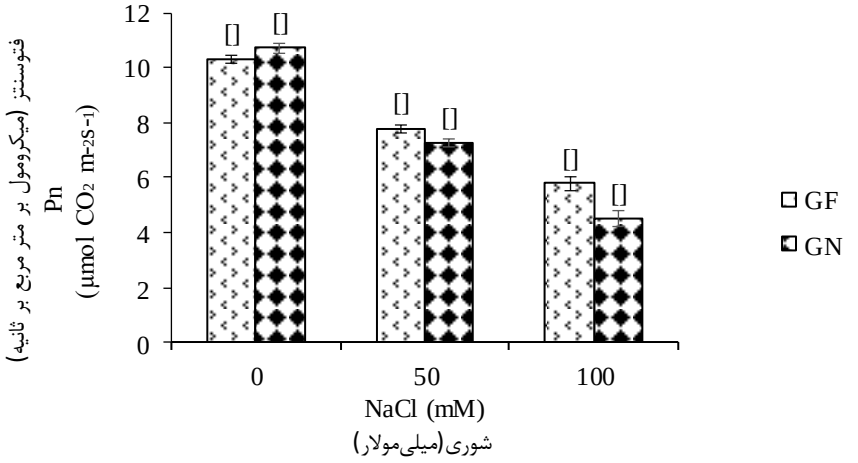
در شرایط بدون تنش تیمار سیلیکون تأثیر معنی‌داری بر میزان کارتنوئید برگ‌ها نداشت (جدول ۲). در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، میزان کارتنوئیدها ۲۱/۴ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد که اعمال تیمارسیلیکون در غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار سبب بهبود ۶ و ۱۲/۱ درصدی محتوای کارتنوئیدها در این سطح از شوری شد. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نیز، میزان کارتنوئیدها ۳۵/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد که اعمال تیمار سیلیکون در این شرایط در سطوح ۱ و ۲ میلی‌مولار، نسبت به حالت شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شاهد (سیلیکون صفر)، سبب افزایش به ترتیب ۱۴/۸ و ۲۲/۲ درصدی میزان کارتنوئیدها شد (جدول ۲).

فتوسنتز

اعمال تنش شوری سبب کاهش میزان فتوسنتز خالص در هر دو پایه شد که میزان کاهش آن در پایه GN15 بیش‌تر بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین پایه و شوری در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم میزان کاهش فتوسنتز خالص در پایه GN15 به‌ترتیب ۳۲ و ۵۸ درصد و در پایه GF677 نیز ۲۴/۴ و ۴۳/۹ درصد بود (شکل ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش شوری و سیلیکون، اعمال تیمار سیلیکون در شرایط تنش شوری و به‌خصوص شوری ۱۰۰ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار فتوسنتز شد. به‌طوری‌که اعمال سیلیکون با غلظت یک میلی‌مولار در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید

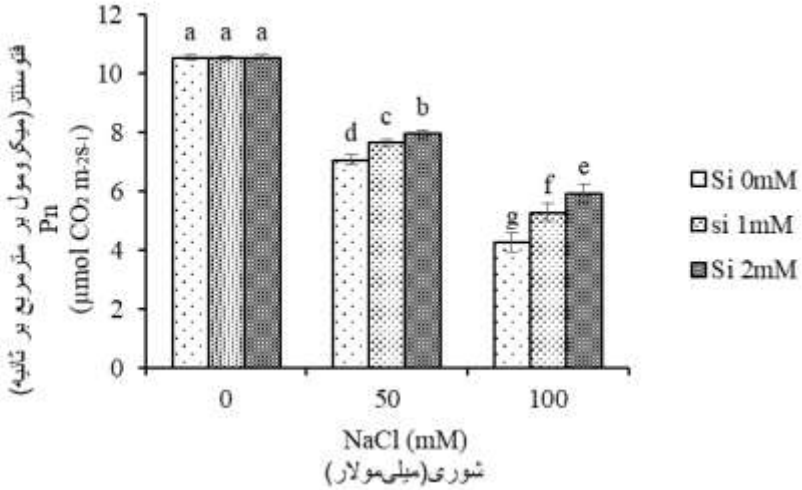
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

سدیم سبب بهبود ۲۴/۳ درصدی فتوسنتز و نیز اعمال سیلیکون با غلظت دو میلی‌مولار سبب بهبود ۳۹/۷ درصدی میزان فتوسنتز نسبت به تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شاهد (سیلیکون صفر) شد (شکل ۶).



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات پایه و شوری بر میزان فتوسنتز. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Fig. 5. Comparison of the average interaction effects of rootstock and salinity on Pn. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.



شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات شوری و سیلیکون بر میزان فتوسنتز. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

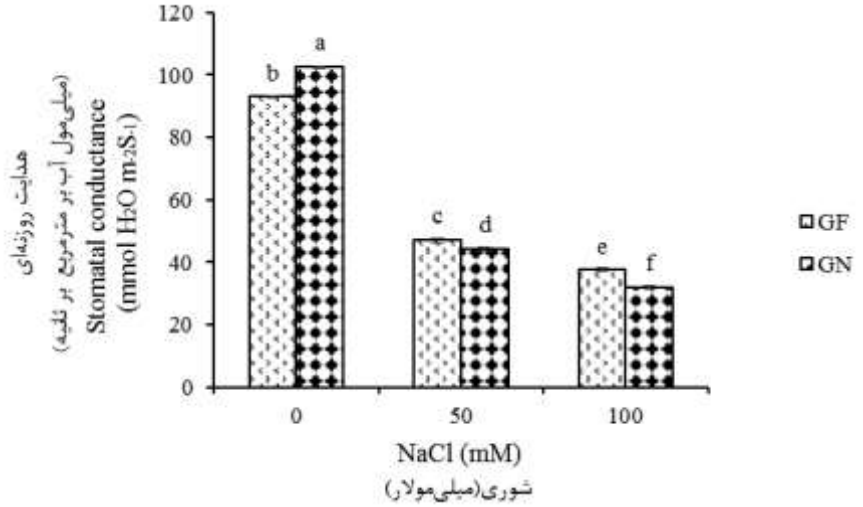
Fig. 6. Comparison of the average interaction effects of salinity and silicon on Pn. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

هدایت روزنه‌ای

بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای در گیاهان شاهد و پایه GN15 مشاهده شد. با اعمال تنش شوری و افزایش غلظت آن، میزان هدایت روزنه‌ای در هر دو پایه روند کاهشی پیدا کرد که البته این کاهش در پایه GN15 بیش‌تر بود. میزان کاهش هدایت روزنه‌ای در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد در پایه GN15 به‌ترتیب ۵۶/۷ و ۶۸/۸ درصد و در پایه GF677 به‌ترتیب، ۴۹/۴ و ۵۹/۶ درصد بود (شکل ۷). اعمال تیمار سیلیکون در شرایط بدون تنش تأثیر معنی‌داری بر میزان هدایت روزنه‌ای پایه‌های مورد مطالعه نداشت اما در شرایط تنش سبب افزایش آن شد. میزان افزایش هدایت روزنه‌ای در

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

سطوح سیلیکون ۱ و ۲ میلی‌مولار نسبت به سطح صفر سیلیکون در شوری ۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۵/۷ و ۹/۸ درصد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب، ۸/۱ و ۱۱/۶ درصد بود (شکل ۸).

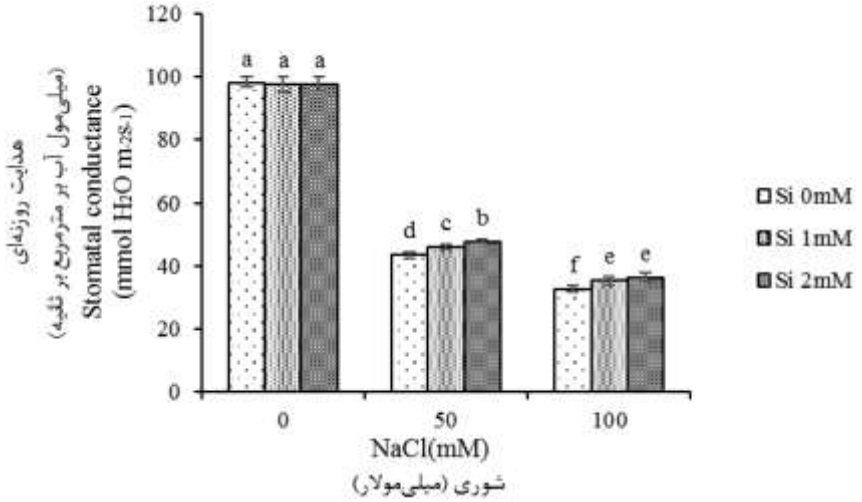


شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات پایه و شوری بر میزان هدایت روزنه‌ای. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Fig. 7. Comparison of the average interaction effects of salinity and rootstock on stomatal conductance. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

تعرق

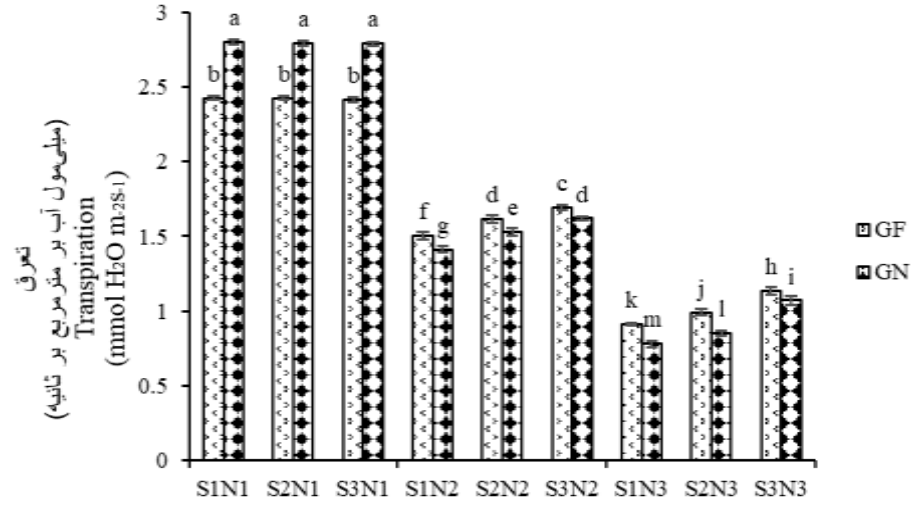
با اعمال تنش شوری میزان تعرق در هر دو پایه کاهش پیدا کرد. کم‌ترین میزان تعرق در تیمار شوری ۱۰۰میلی‌مولار بدون سیلیکون و پایه GN15 مشاهده شد. میزان کاهش تعرق در تیمار شوری ۱۰۰میلی‌مولار بدون سیلیکون نسبت به شاهد در پایه GF677 و GN15 به‌ترتیب، ۶۲/۵ و ۷۲/۱ درصد بود. اعمال تیمار سیلیکون در شرایط تنش سبب حفظ میزان تعرق در هر دو پایه شد. تأثیر سیلیکون ۲ میلی‌مولار به‌ویژه در بالاترین سطح شوری در جهت کاهش اثرات سوء تنش بر بهبود میزان تعرق در گیاهان مورد مطالعه بیش‌تر بود (شکل ۹).



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات شوری و سیلیکون بر میزان هدایت روزنه‌ای. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.

Fig. 8. Comparison of the average interaction effects of salinity and silicon on stomatal conductance. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]



شکل ۹- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات پایه و شوری و سیلیکون بر میزان تعرق. ستون‌های دارای حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند. (سیلیکون صفر میلی‌مولار=S1، سیلیکون یک میلی‌مولار=S2، سیلیکون دومیلی‌مولار=S2، کلریدسدیم صفرمیلی‌مولار= N1، کلریدسدیم پنجاه میلی مولار=N2، کلریدسدیم صدمیلی‌مولار=N3).

Fig. 9. Comparison of the average interaction effects of rootstock and salinity and silicon on transpiration. Columns with the same letters have no significant difference at the 5% probability level with Duncan test. (Silicon 0mM=S1, Silicon 1mM=S2, Silicon 2mM=S3, N1=NaCl 0mM, N2=NaCl 50mM, N3=NaCl 100mM)

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش شوری سبب کاهش خصوصیات رشدی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و تبادلات گازی در پایه‌ها GF677 و GN15 شده و استفاده از تیمار سیلیکون در شرایط تنش سبب حفظ شاخص‌های ذکر شده می‌شود. بر اساس نتایج این مطالعه، با اعمال تنش شوری و افزایش غلظت نمک تعداد برگ و رشد طولی ساقه در پایه‌های مورد مطالعه کاهش پیدا کرد که در تطابق با یافته‌های Azami و همکاران (2021) بود. در مطالعه‌ی Azami و همکاران (2021) چهار رقم بادام تلخ، سنگی، آذرو نان‌پاریل به‌مدت ۹۰ روز در معرض تنش شوری با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم قرار گرفته بودند که با افزایش غلظت شوری تعداد برگ و طول شاخساره‌های گیاهان مورد مطالعه کاهش پیدا کرد. در این مطالعه کمترین میزان شاخص‌های ذکر شده مربوط به سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود، که در این سطح از شوری به‌طور میانگین ارتفاع پایه‌ها ۲۴ درصد و تعداد برگ پایه‌ها ۲۳/۳۷ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. به‌طورکلی، رشد گیاه در شرایط تنش شوری کاهش پیدا می‌کند اما میزان آن به ژنوتیپ گیاه، میزان شوری و غیره بستگی دارد. شوری با ایجاد تنش اسمزی، سمیت یونی و برهم‌زدن تعادل عناصر، مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری با کاهش بیان ژن‌های مرتبط با چرخه‌ی سلولی، سبب توقف موقت چرخه سلولی شده و از این رو، سبب کاهش تکثیر سلولی در مریستم و محدودیت رشد می‌شود (Zhang *et al.*, 2024). در مطالعه حاضر، اعمال تیمار سیلیکون در شرایط تنش شوری سبب افزایش تعداد برگ و رشد طولی ساقه شد. نتایج مشابهی در گوجه‌فرنگی (Sayed *et al.*, 2022) و انبه (Doaa and Shalan, 2020)، مبنی‌بر تأثیر مثبت سیلیکون بر بهبود تعداد برگ و ارتفاع گیاه در شرایط تنش شوری گزارش شده است. سیلیکون از طریق بهبود چندین جنبه‌ی فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز، تعادل شرایط اکسیداسیون-احیا و نیز تعادل عناصر، سبب افزایش شاخص‌های رشدی گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود. علاوه بر این، سیلیکون سبب تنظیم روابط آبی و هورمونی، بهبود رشد ریشه و حفظ یکپارچگی دیواره سلولی در شرایط تنش شوری می‌شود. چنین تأثیرات چند وجهی سیلیکون بر اهمیت آن به‌عنوان یک عنصر مفید در رشدونمو گیاهان

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

در شرایط تنش تأکید می‌کند (Liu *et al*., 2019). بر اساس نتایج مطالعه‌ی حاضر، تنش شوری رنگدانه‌های فتوسنتزی را در هر دو پایه به‌طور قابل توجهی کاهش داد. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در پایه‌های مختلف بادام توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است. در مطالعه‌ی Shahvali و همکاران (2020)، اعمال تنش شوری با غلظت ۱۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌مدت ۳۰ روز بر پایه GF677، باعث کاهش کلروفیل کل به‌میزان ۴۰/۶۷ درصد شد. کاهش کلروفیل در اثر تنش شوری نشانه‌ی بارز تنش اکسیداتیو است و به مهار سنتز کلروفیل همراه با فعال شدن تجزیه‌ی آن توسط آنزیم کلروفیلاز نسبت داده می‌شود. همچنین در گزارش‌های متعددی بیان شده است که تنش شوری سبب کاهش میزان پتاسیم در کلروپلاست گیاهان شده و آن نیز سبب کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (Tränkner *et al*., 2018). بر اساس نتایج این پژوهش میزان کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در پایه GF677 در شرایط تنش نسبت به پایه GN15 کم‌تر بود. تغییر در میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌عنوان نشانگری جهت شناسایی تحمل پایه‌ها به کار رود. کاهش میزان کلروفیل به عوامل مختلفی می‌تواند بستگی داشته باشد از جمله کاهش سنتز کلروفیل به سبب مهار آنزیم‌های آمینولولونیک اسیددهیدراتاز و پروتوکلروفیلاید ردوکتاز، تخریب ساختار رنگدانه، آشفتگی در کمپلکس پروتئین-رنگدانه و نیز کمبود عناصر منیزیم، آهن، روی و منگنز که برای سنتز کلروفیل ضروری هستند (Akbari *et al*., 2018). کارتنوئیدها در پایداری غشا، تحریک رشد سلولی و کاهش آسیب اکسیداتیو در کلروپلاست تحت شرایط تنش شوری نقش ایفا می‌کنند (Abdallah *et al*., 2016). استفاده از تیمار سیلیکون در شرایط تنش، سبب افزایش میزان رنگدانه‌ها در پایه‌های مورد مطالعه شد. نتایج مشابهی در توت‌فرنگی (Avestan *et al*., 2019)، و سیب (Aras, 2020) نیز گزارش شده است. سیلیکون از طریق سرکوب گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی، کاهش سمیت یون سدیم، حفظ ساختار و عملکرد کلروپلاست سبب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Rachappanavar *et al*., 2024). اثر تنش شوری بر کاهش میزان فتوسنتز در پایه‌های بادام توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Sandhu *et al*., 2020). در مطالعه Sandhu و همکاران (2020)، اعمال تنش شوری بر ۱۴ پایه‌ی بادام سبب کاهش میزان فتوسنتز در تمامی گیاهان مورد بررسی شد. در مطالعه Hatami و همکاران (2020) اعمال تنش شوری با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و به‌مدت ۶۰ روز باعث، کاهش فتوسنتز به‌میزان ۲۸/۳۵ درصد در پایه GF677 و ۶۸/۴۷ درصد در پایه GN15، کاهش هدایت روزنه‌ای به‌میزان ۴۷/۷۲ درصد در پایه GF677 و ۸۷/۰۹ درصد در پایه GN15 و کاهش تعرق به‌میزان ۴۲/۷ درصد در پایه GF677 و ۷۵/۲ درصد در پایه GN15 شد. بر اساس نتایج این مطالعه و پژوهش حاضر، میزان کاهش شاخص‌های تبادل گازی در پایه GF677 در شرایط تنش شوری کم‌تر از پایه GN15 می‌باشد که نشان می‌دهد تحمل پایه GF677 به شرایط تنش شوری بیشتر از پایه GN15 است. اولین تأثیر شوری بر گیاه ایجاد تنش اسمزی است، که آن نیز سبب بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود. بسته‌شدن روزنه‌ها نیز سبب کاهش تأمین دی‌اکسیدکربن و تثبیت کربن در فتوسنتز می‌شوند. علاوه‌بر واکنش تثبیت کربن، واکنش‌های نوری فتوسنتز نیز به موجب دلایل پرشماری که یکی از آنها محدودیت روزنه‌ای است، تحت تأثیر سوء تنش شوری قرار می‌گیرند (Wang *et al*., 2024). تغییر فعالیت آنزیم‌های تثبیت دی‌اکسیدکربن (Delatorre *et al*., 2021)، آسیب سیستم فتوسنتزی (Huang *et al*., 2019)، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و مهار انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک (He *et al*., 2021)، از جمله عوامل محدودکننده‌ی واکنش‌های نوری فتوسنتز هستند. شوری زیاد از چرخه‌ی انتقال الکترون ممانعت می‌کند و منجر به تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که آن نیز سبب آسیب اکسیداتیو به پروتئین‌های غشای تیلاکوئید، لیپیدها، غشاها و آنزیم‌های فتوسنتزی می‌شود. جلوگیری از انتقال الکترون و آسیب به دستگاه فتوسنتزی سبب مهار نوری فتوسیستم‌ها می‌شود (Wang *et al*., 2024). مهار سنتز پروتئین‌های فتوسیستم دو، به‌ویژه پروتئین D1 که به‌خاطر تجمع گونه‌های فعال اکسیژن اتفاق می‌افتد، باعث جلوگیری از بازسازی فتوسیستم دو می‌شود. عموماً تأکید بر آن است که واکنش‌های تثبیت دی‌اکسیدکربن نسبت به تنش شوری حساس‌تر از واکنش‌های نوری هستند (Gulzar *et al*., 2021). علاوه‌بر محدودیت روزنه، آنزیم‌های فتوسنتزی که نقش اساسی در آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن ایفا می‌کنند نیز تحت تأثیر سوء تنش شوری قرار می‌گیرند. شوری در بسیاری از گونه‌های

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

گیاهی سبب جلوگیری از فعالیت آنزیم روبیسکو می‌شود (Hameed *et al*., 2021). گزارشات متعددی حاکی از اثرات مثبت سیلیکون بر میزان فتوسنتز در شرایط تنش شوری می‌باشد. در مطالعه Qin و همکاران (2016)، اعمال تیمار ۲ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بر نهال‌های یکساله انگور، باعث بهبود میزان فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای شد. در این مطالعه که مدت آن ده روز بود، هر دو روز یک‌بار تبادلات گازی اندازه‌گیری شد که در همه اندازه‌گیری‌ها، تیمار سیلیکون در شرایط تنش باعث بهبود میزان فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای شد. در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر سیلیکون بر تعدیل اثرات سوء تنش شوری در گیاه خیار پرداخته شده بود، اعمال سیلیکون در شرایط تنش سبب افزایش میزان فتوسنتز خالص و رنگدانه‌های فتوسنتزی و نیز سبب بهبود کارآیی فتوسیستم دو شد (Harizanova and Koleva-Valkova, 2019). سیلیکون در شرایط تنش شوری سبب کاهش سمیت یونی وتجمع گونه‌های فعال اکسیژن شده و از این طریق نیز موجب حفظ عملکرد و ساختار اندامک‌های فتوسنتزی می‌شود. علاوه‌بر این، کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای، حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش کارآیی کوانتوم فتوسیستم دو می‌شود که نتیجه‌ی نهایی آن افزایش میزان فتوسنتز و بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌باشد (Zhu *et al*., 2019). در شرایط تنش شوری، فشار اسمزی آب بستر کشت بالا بوده و باعث ایجاد خشکی فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود که گیاه با بستن روزنه‌ها از اتلاف آب جلوگیری می‌کند. تنش شوری از طریق تأثیر مستقیم بر آکواپورین‌ها و کاهش فراوانی آن، سبب کاهش هدایت آب به بخش شاخساره گیاه می‌شود، که نتیجه‌ی آن کاهش هدایت هیدرولیکی برگ است و این امر منجر به تولید ABA در برگ‌ها شده و سبب بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود (Sharipova *et al*., 2022). افزایش هدایت روزنه‌ای با کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری در این تحقیق، با نتایج پژوهش Aras (2020) در سیب، Yaghubi و همکاران (2019) در توت‌فرنگی مطابقت دارد. تغییر در الگوی بیان ژن‌های مرتبط با آکواپورین‌ها، بیوسنتز فیتوهورمون‌ها، بیوسنتز پلی‌آمین‌ها، انتقال‌دهنده‌های یونی و ژن‌های مرتبط با تنش شوری، از جمله تغییرات مشاهده‌شده در تعدیل تنش شوری به‌وسیله اعمال سیلیکون می‌باشد. افزایش فعالیت آکواپورین‌ها سبب اصلاح هدایت هیدرولیکی در ریشه‌ها شده و به‌این‌ترتیب سبب حفظ هدایت روزنه‌ای و فعالیت فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌شود (Sharipova *et al*., 2022). تأثیر تنش شوری بر کاهش تعرق در بادام پیش از این نیز گزارش شده بود (Amiri *et al*., 2016). در مطالعه Amiri و همکاران (2016) اعمال تنش شوری با غلظت ۹۰ میلی‌مولار بر پایه بادام تلخ باعث، کاهش ۷۴/۰۷ درصدی میزان تعرق نسبت به شاهد شد. کاهش تبادلات گازی در گیاهانی که تحت تأثیر تنش شوری هستند، به سبب اثرات اسمزی تنش بر متابولیسم گیاه است (Sharipova *et al*., 2022). در این مطالعه اعمال تیمار سیلیکون در شرایط تنش سبب افزایش میزان تعرق شد که با نتایج محققان دیگر در انگور (Qin *et al*., 2016) و پسته (Habibi *et al*., 2014) مطابقت داشت. تأثیر سیلیکون بر حفظ تعرق، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، نفوذپذیری غشاء و سطوح کلروفیل در تنش شوری، تا حدودی به سبب افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم در برگ است (Coskun *et al*., 2016).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، تنش شوری بر تعداد برگ، رشد طولی ساقه، محتوای رنگدانه‌ها و شاخص‌های فتوسنتزی در پایه‌های GF677 و GN15 تأثیر منفی داشت. ولی کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری پارامترهای رشدی را افزایش داد و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق را بهبود بخشید، که غلظت ۲ میلی‌مولار آن در بهبود شاخص‌ها تأثیر بیشتری داشت. این یافته‌ها مزایای بالقوه‌ی مطالعات بیش‌تر بر سیلیکون را جهت بهبود تنش شوری در پایه‌های مختلف درختان میوه نشان می‌دهد. در نهایت، تحقیقات بیش‌تری برای درک اثرات سیلیکون بر بهبود صفات پایه‌های مورد مطالعه در شرایط تنش شوری و به‌ویژه در سطح مولکولی نیاز است.

منابع

References

Azami, M.A., Rasouli, F., & Panahi Tajaragh, R. (2021). Influence of salinity stress on morphological,

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

nutritional and physiological attributes in different cultivars of *Prunus amygdalus* L. *Journal of Plant Nutrition*, *12*(44), 1758-1769.

Abdallah, S. Ben, Aung, B., Amyot, L., & Lalin, I. (2016). Salt stress (NaCl) affects plant growth and branch pathways of carotenoid and flavonoid biosyntheses in *Solanum nigrum*. *Acta physiol plant*, *38* (72), 1-13.

Akbari, M., Mahna, N., Ramesh, K., Bandehagh, A., & Mazzuca, S. (2018). Ion homeostasis, osmoregulation, and physiological changes in the roots and leaves of pistachio rootstocks in response to salinity. *Protoplasma*, *255*(5), 1349–1362.

Amiri, A., Baninasab, B., Ghobadi, C., & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2016). Zinc soil application enhances photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in almond seedlings affected by salinity stress. *Photosynthetica*, *54*(2), 267–274.

Aras, S. (2020). Silicon nutrition in alleviating salt stress in apple plant. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, *19*(1), 3–10.

Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M., Byrt, C. S. (2019). Application of nano-silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. *Agronomy*, *9*(5), 246.

Coskun, D., Britto, D.T., Huynh, W.Q., & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1072.

Dabravolski, S.A., & Isayenkov, S. V. (2024). The physiological and molecular mechanisms of silicon action in salt stress amelioration. *Plants*, *13*(4), 525.

Delatorre-herrera, J., Ruiz, K.B., & Pinto, M. (2021). The importance of non-diffusional factors in determining photosynthesis of two contrasting quinoa ecotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to salinity conditions. *Plants*, *10*(5), 927.

Doaa M.H., & Shalan, A. M. (2020). Inducing salinity tolerance in mango (*Mangifera indica* L.) Cv. "El-Gahrawey" by sodium silicate pentahydrate and glycine betaine. *Journal of Plant Production*, *11*(6), 541–549.

Felipe, A. J. (2009). Felinem, garnem, and monegro almond×peach hybrid rootstocks. HortScience, *44*: 196–197.

Gulzar, S., Hussain, T., Gul, B., & Hameed, A. (2021). Photosynthetic adaptations and oxidative stress tolerance in halophytes from warm subtropical region. *Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture*, 1515–1545.

Habibi, G., Noruuzi, F., & Hajiboland, R. (2014). Silicon alleviates salt stress in pistachio plants. *Progress in Biological Sciences*, *4*(2), 189–202.

Hameed, A., Ahmed, M. Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B., & Nielsen, B. L. (2021). Effects of salinity stress on chloroplast structure and function. *Cells*, *10*(8).

Harizanova, A., & Koleva-Valkova, L. (2019). Effect of silicon on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence parameters at hydroponically grown cucumber plants under salinity stress. *Journal of Central European Agriculture*, *20*(3), 953–960.

Hatami, E., Shokouhian, A. A., Ghanbari, A. R., and Naseri, L. (2020). Investigation the effect of humic acid on morphophysiological and biochemical characteristics of almond rootstocks under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *3*(51), 523-536. (In Persian)

He, W., Yan, K., Zhang, Y., Bian, L., Mei, H., & Han, G. (2021). Contrasting photosynthesis, photoinhibition and oxidative damage in honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) under iso-osmotic salt and drought stresses. *Environmental and Experimental Botany*, *182*, 104313.

Huang, L., Li, Z., Liu, Q., Pu, G., Zhang, Y., & Li, J. (2019). Research on the adaptive mechanism of photosynthetic apparatus under salt stress: New directions to increase crop yield in saline soils. *Annals of Applied Biology*, *175*(1), 1–17.

Liu, B., Soundararajan, P., & Manivannan, A. (2019). Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. *Plants 8*, 307.

Mahmoud, L.M., Shalan, A.M., El-Boray, & M.S. (2022). Application of silicon nanoparticles enhances oxidative stress tolerance in salt stressed 'Valencia' sweet orange plants. *Scientia Horticulturae, 295.*

Qin, L., Kang, W. huai, Qi, Y. ling, Zhang, Z. wen, & Wang, N. (2016). The influence of silicon application on growth and photosynthesis response of salt stressed grapevines (*Vitis vinifera* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, *38*, 68.

Rachappanavar, V., Kumar, M., Negi, N., Chowdhury, S., Kapoor, M., Singh, S., Rustagi, S., Rai, A.K., Shreaz, S., Negi, R., & Yadav, A. N. (2024). Silicon derived benefits to combat biotic and abiotic stresses in fruit crops: Current research and future challenges. *Plant Physiology and Biochemistry*, *211*, 108680.

Sandhu, D., Kaundal, A., Acharya, B.R., Forest, T., Pudussery, M. V., Liu, X., Ferreira, J. F. S., & Suarez, D. L. (2020). Linking diverse salinity responses of 14 almond rootstocks with physiological, biochemical, and genetic determinants. *Scientific Reports*, *3*(1), 21087.

Sayed, E. G., Mahmoud, A. W. M., El-Mogy, M. M., Ali, M.A.A., Fahmy, M.A.M., & Tawfic, G. A. (2022). The effective role of nano-silicon application in improving the productivity and quality of grafted tomato

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

grown under salinity stress. *Horticulturae, 8*(4), 293.
Shahvali, R., Shiran, B., Ravash, R., Fallahi, H., & Banović Đeri, B. (2020). Effect of symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi on salt stress tolerance in GF677 (peach×almond) rootstock. *Scientia Horticulturae, 272*,109535.
Sharipova, G., Ivanov, R., Veselov, D., Akhiyarova, G., Seldimirova, O., & Galin, I. (2022). Effect of salinity on stomatal conductance , leaf hydraulic conductance , HvPIP2 aquaporin , and abscisic acid abundance in barley leaf Cells. *International journal of molecular science,* 1-9.
Tränkner, M., Tavakol, E., & Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum, 163*(3), 414–431.
Wang, X., Chen, Z., & Sui, N. (2024). Sensitivity and responses of chloroplasts to salt stress in plants. *Frontiers in plant science, 15*, 1–11.
Yaghubi, K., Vafaee, Y., Ghaderi, N. and Javadi, T. (2019). Potassium silicate improves salinity Resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 12*(50), 1439-1451.
Zhang, D., Zhang, Z., & Wang, Y. (2024). Effects of salt stress on salt-repellent and salt-secreting characteristics of two apple rootstocks. *Plants*, *13*(7), 1046.
Zhu, Y. X., Gong, H. J., & Yin, J. L. (2019). Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A Zrig Review. *Plants, 8*(6), 147.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 25 (2): 197-210 (2024)
Research article

Effect of Silicon on Growth and Photosynthetic Characteristics of Peach and Almond Hybrid (*Prunus persica* × *Prunus amygdalus*) GF677 and GN15 Rootstocks under Salinity Stress

Pouya Gharbi[1], Jafar Amiri[1*], Nasser Mahna[2], Lotf Ali Naseri[1], Mir Hassan Rasouli Sadaghiani[3]

1. Department of Horticultural sciences, University of Urmia, Urmia, Iran.
2. Department of Horticultural sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Department of Soil sciences, University of Urmia, Urmia, Iran.

*Corresponding author, Email: (J.amiri@urmia.ac.ir)

In this study, the impact of silicon application under salt stress on growth and photosynthetic characteristics of GF677 and GN15 rootstocks in a hydroponic culture system was examined. The experiment was performed over the 2019 and 2020 years in the Horticultural Sciences research greenhouse, Faculty of Agriculture, Urmia University. The research was conducted in a factorial experiment based on randomized complete block design with three factors: rootstock at two levels (GF677 and GN15), salt stress at three levels (0, 50 and 100 mM sodium chloride) and silicon treatment at three levels (0, 1 and 2 mM) with three replications under greenhouse conditions. Results demonstrated the exposure of rootstocks to 100 mM salinity stress, caused a notable decrease in leaf production, with a 38.6% decrease observed in GF677 rootstock and a 53.2% decrease in GN15 compared to the control condition. Stem length also showed a substantial decline, as 40.1% in GF677 and 53.8% in GN15 rootstocks under the 100 mM salinity stress. Also the findings showed that the salt stress treatments caused a decrease in photosynthetic pigments and gas exchange indices. The application of silicon, improved all measured parameters in both studied rootstocks. In general, the results from this study demonstrated that silicon could increase the tolerance of the studied rootstocks to salt stress with the 2 mM concentration showing the most substantial effect.

Keywords: Leaf number, Chlorophyll, Carotenoid, Stomatal conductance, Transpiration.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-19]