

بررسی برهمکنش تنش‌های خشکی و شوری بر رشد دانه‌های پسته

نجمه یرمی^{۱*}، هاجر رضانیا^۲، ابوالفضل عزیزیان^۳، سمیه سلطانی گردفرامری^۴ و علی اسدیان اردکانی^۵

چکیده

تنش‌های خشکی و شوری از جمله تنش‌های محیطی مهم هستند که کاهش تولیدات زراعی و باغی در تمام جهان مخصوصاً مناطق خشک و نیمه‌خشک را سبب می‌شوند. در این پژوهش به منظور بررسی اثر همزمان دو تنش شوری و خشکی بر دانه‌های پسته پایه محلی بادامی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه ایستگاه تحقیقات پسته در شهرستان اردکان انجام گرفت. تیمارهای آبیاری شامل دوره‌های ۵ (I1)، ۱۰ (I2) و ۱۵ (I3) روز و سطوح شوری آب آبیاری شامل ۵/۰ (S1)، ۴ (S2)، ۷ (S3) و ۱۰ (S4) دسی‌زیمنس بر متر بودند. در پایان دوره اعمال تیمارها، تبخیر-تعرق و پارامترهای مورفولوژیکی شامل سطح برگ، وزن خشک شاخساره، ارتفاع دانه‌ها، قطر ساقه، وزن خشک ریشه و طول ریشه اصلی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری و شوری آب آبیاری بر همه صفات به جز ارتفاع دانه‌ها در سطح یک درصد و برهمکنش دور آبیاری و شوری بر تبخیر-تعرق، سطح برگ و وزن خشک ریشه معنی‌دار بودند. با افزایش شوری از مقدار ۵/۰ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک شاخساره و ریشه به ترتیب حدود ۶۰ و ۵۸ درصد کاهش پیدا کرد. افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز نیز باعث کاهش ۲۷ و ۲۹ درصدی میانگین وزن خشک شاخساره و ریشه شد. به طور کلی اثر شوری بر کاهش رشد شاخساره و ریشه بیشتر از اثر خشکی بود. بهترین دور آبیاری برای دانه‌ها پسته دو ساله ۱۰ روز و حد رطوبت سهل‌الوصول آن ۴۱ درصد تعیین شد. حدود آستانه شوری محلول خاک برای کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه برای دانه‌های پسته رقم بادامی به ترتیب برابر ۸/۸ و ۷/۰ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. شیب کاهش عملکرد به ازای افزایش یک واحد شوری محلول خاک نیز برای شاخساره و ریشه حدود ۴ درصد تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: آستانه شوری، برهمکنش، پسته، دور آبیاری، صفات مورفولوژیک.

ارجاع: یرمی ن.، رضانیا ه.، عزیزیان ا.، سلطانی گردفرامری س. و اسدیان اردکانی ع. ۱۴۰۱. بررسی برهمکنش تنش‌های خشکی و شوری بر رشد دانه‌های پسته. مجله پژوهش آب ایران. ۱۳-۲۶. ۴۶: ۱۳-۲۶. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2022.13817.2391>

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه اردکان، اردکان.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان.

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان.

۵- کارشناس ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد.

* نویسنده مسئول: nyarami@ardakan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

مقدمه

با توجه به محدودیت شدید منابع آب، برای تأمین نیاز روزافزون بشر برای مواد غذایی، چاره‌ای جز استفاده از آب‌های با کیفیت پایین یا آب‌های نامتعارف وجود ندارد. شیوه مدیریتی استفاده و بهره‌برداری از این منابع نامتعارف بایستی اصلاح شود و گیاهانی که قادر به تولید توسط آب‌های با کیفیت پایین هستند، شناسایی شوند یا با انجام عملیات به‌نژادی و به‌زراعی شرایط برای تولید بیشتر آماده شود. به‌همین دلیل کشاورزی در اکثر سرزمین‌های خشک وارد دوران نوینی شده‌است که دیگر در آن توسعه با منابع جدید آب مد نظر نیست (باغانی و همکاران، ۱۳۹۴). کشور ایران از نظر اقلیمی، خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود؛ بنابراین با در نظر گرفتن شرایط منابع آب و خاک کشور، عملکرد محصولات باغی و زراعی در اکثر مناطق کشور تحت تأثیر همزمان تنش‌های شوری و خشکی قرار دارند. در نتیجه بررسی و مطالعه تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های شوری و خشکی در جهت بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری، انتخاب محصولات مناسب در الگوی کشت، پیش‌بینی روند عملکرد در درازمدت و همچنین اثرات زیست‌محیطی آن می‌بایست مورد توجه قرار گیرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴). در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی، پتانسیل ماتریک و اسمزی محلول خاک کاهش یافته و به تبع آن، جذب آب توسط ریشه گیاه کاهش می‌یابد و در این شرایط گیاه برای جذب آب توسط ریشه نیاز به صرف انرژی بیشتری دارد (همایی، ۱۳۸۱). در مناطق مرکزی و کویری ایران که به‌طور حادی با مشکل کمبود آب و شوری آب و خاک مواجه هستند و به عبارتی همه گیاهان این مناطق به نوعی در معرض هر دو تنش خشکی و شوری به‌طور همزمان قرار دارند، کاشت گیاه پسته به دلیل مقاومت به شوری و خشکی و سازگاری با شرایط نامساعد محیطی، گسترش زیادی دارد.

اولین تحقیقات علمی ایران در ارتباط با واکنش ارقام مختلف پسته به شوری، توسط پارسا و کریمیان (۱۹۷۵) انجام شد. نتایج آن‌ها با وجود اظهار نظر کشاورزان محلی نشان داد که مصرف آب شور موجب افزایش رشد نهال‌های پسته نشد، بلکه وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری با افزایش شوری کاهش یافت. سپاسخواه و مفتون (۱۹۸۱) در پژوهشی تأثیر تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری شامل ۰/۵، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و

۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر بر نهال‌های دو رقم پسته فندق و بادامی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در رقم فندق، اعمال شوری تا ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نشان نداد، لیکن وزن خشک اندام هوایی رقم بادامی در این تیمار به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. پیچینی و همکاران (۱۹۹۰) با بررسی اثرات کاهنده نمک بر روی رشد نهال‌های مختلف پسته نشان دادند که اعمال شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش طول ساقه به میزان ۳۳ درصد نسبت به شاهد شد. همچنین گزارش دادند که افزایش شوری موجب کاهش وزن تر ریشه شد. رضوی نسب و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تأثیر شوری و ماده آلی بر ترکیب شیمیایی و مرفولوژی نهال‌های پسته پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شوری، میزان نیتروژن اندام هوایی روندی کاهشی داشت؛ در حالی که افزایش ماده آلی، سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن اندام هوایی شد. شوری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی اثری معنی‌دار نداشت، اما با افزایش شوری، غلظت پتاسیم ریشه کاهش یافت.

نتایج مطالعه باقری و همکاران (۱۳۹۰) بر روی دو رقم پسته قزوینی و بادامی ریز با چهار سطح خشکی (۱۰۰ و ۷۵ و ۵۰ و ۲۵ درصد از ظرفیت مزرعه) نشان داد که پایه رقم بادامی ریز با توجه به تولید ماده خشک بیشتر، حفظ میزان کلروفیل، سرعت فتوسنتز بیشتر و محتوای نسبی آب برگ بالاتر نسبت به رقم قزوینی در شرایط تنش خشکی مقاوم‌تر است. بناکار و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به بررسی تأثیر شوری آب آبیاری با چهار سطح ۰/۵، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بر اندام هوایی (ساقه و برگ) و ریشه دانه‌های ارقام غالب پسته در استان یزد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری منجر به افزایش درصد سدیم اندام هوایی و ریشه، کاهش درصد پتاسیم اندام هوایی و ریشه، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، کاهش طول اندام هوایی و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شد. همچنین، مشخص شد که با افزایش شوری آب آبیاری، رقم پسته پرنده قادر به تولید وزن تر و خشک بالاتری نسبت به سایر ارقام است. حاجی‌بلند و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی رشد و عکس‌العمل فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و یونی پسته احمدآقایی تحت شرایط

شوری بر پسته و آستانه تحمل شوری در ارقام محلی پسته اطلاعات اندکی موجود است. از سوی دیگر مطالعه ارقام بومی و سازگار در هر منطقه و ارائه پیشنهادی برای پسته‌کاران از اهمیت زیادی برخوردار است. اهمیت این بررسی‌ها از جنبه مدیریت آب در گلخانه و مزرعه کاملاً واضح و ضروری است. از آنجایی که انتقال آب از ریشه به شاخساره توسط پایه کنترل می‌شود و وضعیت رطوبتی گیاه کاملاً به پایه وابسته است، انتخاب پایه مقاوم به تنش‌های غیرزیستی مانند شوری و خشکی در درختان میوه، حائز اهمیت بوده و این پایه‌ها برای پیوندزدن مناسب‌تر هستند (استریک و همکاران، ۲۰۱۷). پایه رقم بادامی از جمله ارقام بومی در منطقه اردکان و استان یزد است که به دلیل تحمل زیاد به تنش‌های محیطی به عنوان پایه مقاوم به صورت دانهال کشت شده و بعد از یک یا دو سال به زمین اصلی منتقل می‌شود؛ بنابراین هدف از این تحقیق بررسی اثرات کم‌آبایی، آبیاری با آب شور و اثر همزمان این دو تنش بر رشد دانهال‌های پسته رقم بادامی به عنوان یکی از ارقام محلی در شهرستان اردکان در استان یزد است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر برهمکنش خشکی و شوری بر دانهال‌های پسته در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۴۰ متر از سطح دریا) واقع در استان یزد با متوسط بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با اعمال دو تیمار کم‌آبایی و شوری در سه تکرار در محل گلخانه اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل دوره‌های مختلف ۵ (I1)، ۱۰ (I2) و ۱۵ (I3) روز و تیمارهای شوری آب آبیاری شامل شاهد با شوری حدود ۰/۵ (S1)، آب قنات با شوری حدود ۴ (S2)، مخلوط آب چاه و قنات با شوری حدود ۷ (S3) و آب چاه با شوری حدود ۱۰ (S4) دسی‌زیمنس بر متر بود. شوری آب‌های مورد استفاده در طول دوره اعمال تیمارها چندین بار اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی آب‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

شوری‌های متوسط و بالا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری در پارامترهای رشد مانند وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و تعداد برگ اتفاق افتاد. از سوی دیگر اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای در خصوصیات یونی و بیوشیمیایی مانند تجمع کمتر یون سدیم و شدت فتوسنتز بیشتر در شرایط شور در برگ‌های جوان نسبت به برگ‌های بالغ مشاهده شد.

ره‌نشان و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی تأثیر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تغذیه‌ای دو پایه پسته پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که رقم بادامی ریز زرد تحمل بیشتری نسبت به شوری در مقایسه با رقم بادامی سفید دارد و علت آن به دلیل رشد بهتر و تجمع کمتر یون سدیم و نسبت پایین‌تر یون سدیم به پتاسیم در اندام‌های هوایی و نگهداری بهتر عناصر غذایی بیان شد.

مارینو و همکاران (۲۰۱۹) به تعیین تبخیر-تعرق واقعی و عملکرد درختان پسته در شرایط خاک‌های شور و سدیمی پرداختند. نتایج نشان داد که تبخیر-تعرق واقعی پسته در خاک شور و شور-سدیمی به ترتیب به میزان ۳۲ و ۴۶ درصد نسبت به خاک غیرشور کاهش یافت. آن‌ها بیان کردند که اثرات ثانویه سدیمی‌بودن خاک، مانند تخریب ساختمان خاک، تهویه ضعیف و در نتیجه خفگی ریشه، احتمالاً تأثیر بیشتری در کاهش عملکرد پسته در درازمدت نسبت به شوری خاک دارد. جمشیدی گوهرریزی و همکاران (۲۰۲۱) اثر شرایط مختلف تنش‌های شوری و خشکی بر چهار رقم پسته را بررسی کردند. نتایج صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد بررسی در این پژوهش نشان داد که اثرات مخرب تنش‌های مذکور را می‌توان به صورت تنش همزمان شوری و خشکی، تنش شوری به تنهایی و نهایتاً تنش خشکی به تنهایی مرتب کرد. نتایج این پژوهش، کاهش معنی‌دار محتویات پروتئین در همه ارقام در شرایط تنش توأم شوری و خشکی و فعالیت بیشتر سیستم دفاعی آنزیمی در ارقام مقاوم‌تر (UCB-1 و بادامی زرد) نسبت به ارقام حساس‌تر (کله‌قوچی و قزوینی) را نشان داد.

اگرچه تاکنون پژوهش‌های زیادی در رابطه با اثر تنش خشکی و شوری به طور مجزا بر ارقام مختلف پسته انجام شده است، در رابطه با اثر همزمان دو تنش خشکی و

جدول ۱- آنالیز کیفیت آب آبیاری

تیما	EC dS/m	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SAR	کلاس کیفی آب
						meq/L				
S1	۰/۵	۷/۸	۶/۲	۸/۸	۵/۶	۰	۲/۴	۴/۳	۲/۳	C ₂ -S ₁
S2	۴	۷/۶	۳۲/۵	۱۰/۴	۸/۴	۰	۵/۲	۲۶/۵	۱۰/۶	C ₄ -S ₃
S3	۷	۷/۵	۶۸/۳	۱۱/۶	۱۰/۰	۰	۶/۳	۴۹/۶	۲۰/۸	C ₄ -S ₄
S4	۱۰	۷/۳	۹۵/۶	۱۵/۲	۱۷/۶	۰	۷/۵	۷۷/۷	۲۳/۶	C ₄ -S ₄

برای کاشت دانه‌ها از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. برای سهولت در عمل زهکشی با هدف آبیاری از سوراخ‌های انتهایی گلدان، در کف گلدان‌ها یک سانتی‌متر فیلتر شنی ریخته شد. خاک مورد استفاده که یکی از انواع خاک‌های غالب در باغ‌های پسته منطقه اردکان بود، دارای بافت لوم شنی با ظرفیت زراعی ۲۴ درصد حجمی بود. برخی خصوصیات فیزیکی مهم خاک در جدول ۲ ارائه شده است. براساس بافت و چگالی ظاهری خاک و با استفاده از نرم‌افزار RETC (ون گنوختن و همکاران، ۱۹۹۱) پارامترهای مربوط به منحنی مشخصه رطوبتی خاک نیز تعیین شد (معادله (۱)).

$$h = \frac{1}{0.011} \left[\left(\frac{0.401 - 0.042}{\theta - 0.042} \right)^{1/0.262} - 1 \right]^{1/1.35} \quad (1)$$

در رابطه فوق θ : رطوبت حجمی خاک ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) و h : پتانسیل ماتریک متناظر با رطوبت خاک (cm) است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک آزمایش

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	θ_{v-pwp} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_{v-fc} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	ρ_b (gr cm^{-3})
۱۶/۲۵	۳/۷۵	۸۰	لوم شنی	۰/۱	۰/۲۴	۱/۴۹

شده و مقدار آبیاری در آن دور آبیاری (معادله (۳)) برای هر تیمار به دست آمد. سپس برای هر تیمار کل میزان تبخیر-تعرق واقعی فصل رشد (ET_a) از جمع مقادیر ET اندازه‌گیری شده در هر دور آبیاری تعیین شد.

$$ET_a = I - D_p \quad (3)$$

که در آن، I: عمق آب آبیاری (cm) و D_p : مقدار نفوذ عمقی (cm) که همان زهاب خروجی از انتهای گلدان بود. براساس وزن هر تیمار، رطوبت خاک قبل از هر آبیاری محاسبه شد و در طول دوره رشد متوسط کمترین رطوبتی که هر تیمار با آن مواجه بود، تعیین شد. براساس مقادیر رطوبت مذکور و عملکرد نسبی شاخساره، به تعیین رطوبت سه‌الوصول دانه‌ها و میزان تنشی که گیاه در

قبل از هر آبیاری گلدان‌ها وزن می‌شدند و تفاضل وزن آن‌ها با وزن در حالت ظرفیت زراعی محاسبه می‌شد. سپس به میزان جبران رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی و ۳۰ درصد آب بیشتر برای آبیاری انجام می‌گرفت. آبیاری در هر نوبت با پیمانه مدرج انجام می‌شد. معادله‌ای که براساس آن حجم آب آبیاری لازم محاسبه شد، به صورت زیر (معادله (۲)) بود:

$$V_i = \frac{(W_{FC} - W_i)}{1 - LF} \quad (2)$$

که در آن، V_i : حجم آب آبیاری لازم (cm^3)، W_{FC} : وزن گلدان در حالت ظرفیت زراعی (gr)، W_i : وزن گلدان قبل از آبیاری (gr) و LF: جزو آبیاری است. تبخیر-تعرق واقعی گیاه در هر دور آبیاری از تفاضل مقدار آب داده

FAO (آیز و وستکات، ۱۹۸۵) انجام شد که نتایج حاصل به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۳ ارائه شده‌است. براساس جدول ۱ مشخص است که اولین سطح شوری آب (شاهد) از لحاظ شوری در طبقه شوری متوسط و با زیان ناشی از سدیم کم قرار داشت. سایر آب‌های مورد استفاده دارای شوری خیلی زیاد بودند و از لحاظ زیان‌های سدیم نیز در محدوده سدیمی زیاد تا خیلی زیاد قرار داشتند.

براساس جدول ۳ که معیار طبقه‌بندی آب آبیاری روش ارائه شده توسط سازمان FAO است، از نظر شوری سطح شاهد (S1) بدون محدودیت و بقیه سطوح شوری دارای محدودیت شدید بودند. از لحاظ تأثیر نسبت جذبی سدیم بر سرعت نفوذ آب در خاک، تقریباً همه آب‌ها بدون محدودیت بوده و مشکلی را برای نفوذپذیری خاک ایجاد نکردند و حتی قرارگرفتن سطح شاهد در طبقه دارای محدودیت جزئی تا متوسط در یک دوره رشد دانهال‌ها بدون اشکال بود و کاربرد این آب شاید در درازمدت محدودیت ایجاد کند. از لحاظ یون سدیم و کلر سطح شاهد دارای محدودیت جزئی و سایر سطوح دارای محدودیت شدید بودند. از نظر پارامتر بی‌کربنات، همه آب‌ها در دسته دارای محدودیت جزئی تا متوسط قرار داشته و از نظر اسیدیته خاک در دامنه معمول و طبیعی برای آب آبیاری قرار داشتند.

هر دور آبیاری با آن مواجه بود، پرداخته شد. به‌منظور پایش شوری محلول خاک، از زهاب خروجی از کف گلدان‌ها هر چهار هفته یک‌بار نمونه‌برداری شد و شوری زهاب‌ها با EC متر (مدل inolab-cond 720) اندازه‌گیری و متوسط شوری محلول خاک برای هر تیمار در طی فصل رشد مشخص شد.

در اوایل آبان ۱۳۹۸، نهال‌ها از محل طوقه قطع شدند. برای هر تیمار وزن خشک شاخساره، ارتفاع دانهال، قطر ساقه و سطح برگ اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، ریشه‌های هر تیمار نیز شست‌وشو، و وزن خشک ریشه و طول ریشه اصلی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری سطح برگ در هر تیمار با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter، مدل WinArea_UT_11 ساخت ایران) انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری صفات اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط SPSS براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای انجام محاسبات لازم و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری

براساس نتایج آنالیز شیمیایی تیمارهای آب آبیاری، طبقه‌بندی آب‌ها به روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا و

جدول ۳- نتایج طبقه‌بندی آب‌های مورد استفاده در پژوهش به روش FAO

درجه محدودیت در مصرف			واحد	پارامتر
شدید	جزئی تا متوسط	بدون محدودیت		
S2-S3-S4		S1*	dS/m	هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw})
	S1	S2-S3-S4		نسبت جذبی سدیم (SAR)
S2-S3-S4	S1		meq/L	یون سدیم (Na^+)
S2-S3-S4	S1		meq/L	یون کلر (Cl^-)
	S1-S2-S3-S4		meq/L	بی‌کربنات (HCO_3^-)
		S1-S2-S3-S4		اسیدیته (pH)

* S1 تا S4 سطوح مختلف شوری آب آبیاری در این پژوهش ($S1=0.5$, $S2=4$, $S3=7$ و $S4=10$ dS/m) هستند.

به‌جز ارتفاع دانهال در سطح یک درصد معنی‌دار بود و اثر اصلی شوری آب آبیاری نیز بر همه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود؛ درحالی‌که اثر برهمکنش دور آبیاری و شوری تنها بر تبخیر-تعرق واقعی، سطح برگ و وزن خشک ریشه معنی‌دار بود.

اثر تنش شوری و دور آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر

تبخیر-تعرق و صفات مورفولوژیک پسته

نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر دور و شوری آب آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر تبخیر-تعرق و صفات رشدی دانهال‌های پسته در جدول ۴ ارائه شده‌است. براساس این جدول، اثر اصلی دور آبیاری بر همه صفات اندازه‌گیری شده

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک دانه‌های پسته تحت تأثیر تنش‌های شوری و دور آبیاری

منابع تغییرات	میانگین مربعات (M.S)			
	دور آبیاری	شوری	دور آبیاری × شوری	خطا
درجه آزادی	۲	۳	۶	۲۲
تبخیر-تعرق واقعی	۳۰۸۹۳۹/۱۳ **	۱۵۱۳۰/۸۰ **	۳۷۵۳/۳۳ **	۲۰۹/۴۹
وزن خشک شاخساره	۲۷/۷۷ **	۹۶/۷۴ **	۰/۷۰ ns	۰/۶۰
قطر ساقه	۴/۰۵ **	۲۱/۹۶ **	۰/۴۴ ns	۰/۲۳
ارتفاع دانه‌ها	۶/۳۸ ns	۶۵۱/۴۶ **	۷/۷۴ ns	۶/۵۲
سطح برگ	۹۵۸۲/۱۱ **	۳۳۶۲۴/۳۹ **	۱۵۹۰/۷۱ **	۴۵/۷۹
وزن خشک ریشه	۱۹/۰۵ **	۵۷/۵۰ **	۱/۱۷ **	۰/۲۳
طول ریشه اصلی	۱۳/۳۵ **	۵۸/۳۲ **	۱/۵۸ ns	۲/۹۵

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌داری را نشان می‌دهد.

تبخیر-تعرق واقعی

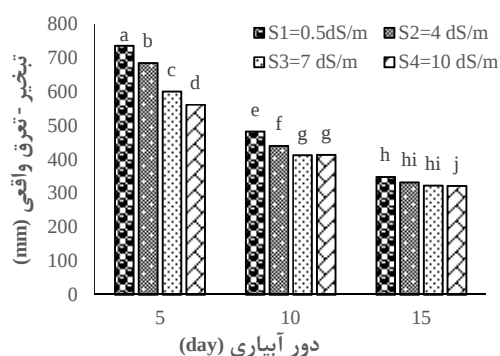
براساس جدول ۴، اثر شوری آب آبیاری، دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر تبخیر-تعرق گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها برای تبخیر-تعرق در شکل ۱ ارائه شده‌است. بیشترین تبخیر-تعرق در تیمار I_1S_1 و کمترین مقدار در تیمار I_3S_4 با بیشترین حد تنش خشکی و شوری مشاهده شد. در دور آبیاری ۵ روز که تقریباً شرایط بدون تنش خشکی بود، با افزایش شوری آب آبیاری میزان تبخیر-تعرق به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در این دور آبیاری با افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تبخیر-تعرق دوره رشد ۲۴ درصد کاهش پیدا کرد. در دور آبیاری ۱۰ روز با افزایش شوری تا ۷ دسی‌زیمنس بر متر میزان تبخیر-تعرق گیاه روند کاهشی معنی‌داری داشت. در دور آبیاری ۱۵ روز اختلاف تبخیر-تعرق سه سطح اول شوری با بیشترین مقدار شوری معنی‌دار بود؛ به‌طور کلی با افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر میانگین تبخیر-تعرق ۱۷/۳ درصد کاهش پیدا کرد و با افزایش دور آبیاری از ۵ روز به ۱۵ روز میانگین تبخیر-تعرق ۴۸/۸ درصد کاهش یافت. این کاهش در تغییر دور آبیاری از ۱۰ به ۱۵ روز ۲۴/۳ درصد بود. از آنجاکه شرایط تبخیر از سطح خاک برای همه تیمارها یکسان بوده، کاهش میزان تبخیر-تعرق در شرایط تنش شوری و خشکی ممکن است به دلیل کاهش انرژی لازم برای جذب آب توسط گیاه به دلیل کاهش پتانسیل آب در خاک (کمبود آب در شرایط خشکی که با بالا رفتن پتانسیل ماتریک و در شرایط شور با افزایش فشار اسمزی ناحیه ریشه همراه است) باشد که منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق می‌شود. از سوی دیگر در شرایط

تنش ظرفیت رشد ریشه‌ها کاهش یافته و در نتیجه جذب آب کمتر می‌شود. نتایج مشابهی توسط رهنشان و همکاران (۲۰۱۸) بیان شده که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. کاهش معنی‌دار تبخیر-تعرق در شرایط تنش شوری، خشکی و اثر متقابل دو تنش بر روی گیاهان مختلف (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ سپاسخواه و یرمی، ۲۰۰۹) نیز قبلاً گزارش شده‌است که با نتایج تحقیق حاضر سازگاری دارد.

وزن خشک شاخساره

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان می‌دهد که اثر شوری آب آبیاری و دوره‌های مختلف آبیاری در سطح یک درصد بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل شوری و خشکی بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین‌ها در دوره‌ها و شوری‌های مختلف آب آبیاری، برای وزن خشک شاخساره در شکل ۲ ارائه شده‌است؛ براساس این شکل، تفاوت این پارامتر در دوره‌های آبیاری ۵ و ۱۰ روز معنی‌دار نبود، اما در هر دور آبیاری با افزایش شوری آب آبیاری به‌طور معنی‌داری وزن خشک شاخساره کاهش یافت. بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار I_2S_1 و کمترین مقدار آن برای تیمار I_3S_4 بود. با افزایش شوری از مقدار ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک شاخساره ۶۰/۱ درصد کاهش پیدا کرد. افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز نیز باعث کاهش ۲۷/۱ درصدی میانگین وزن خشک شاخساره شد. مشخص است که تنش شوری باعث کاهش قابل‌توجهی در وزن خشک شاخساره شد؛ درحالی‌که اثر خشکی کمتر بود. براساس شکل ۲، ماده

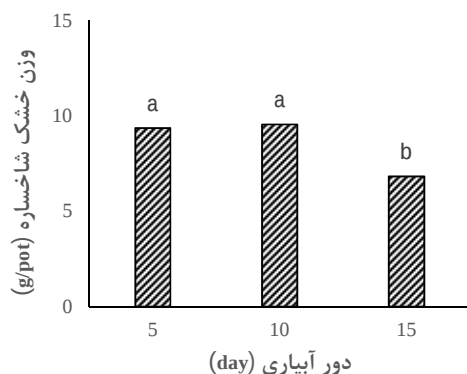
مقادیر کاهش با نتایج این پژوهش می‌تواند تفاوت در ارقام پسته باشد.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های تبخیر-تعرق کل دوره رشد تحت

اثر متقابل دورها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).

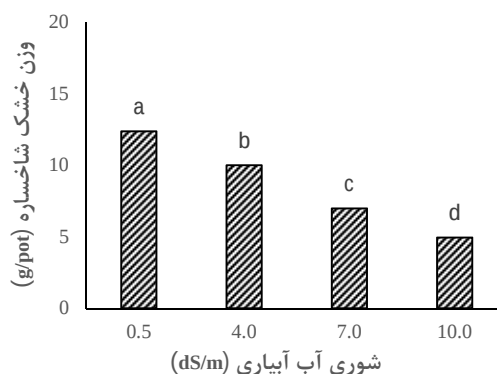


شکل ۲- مقایسه میانگین‌های وزن خشک شاخساره پسته در دورها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).

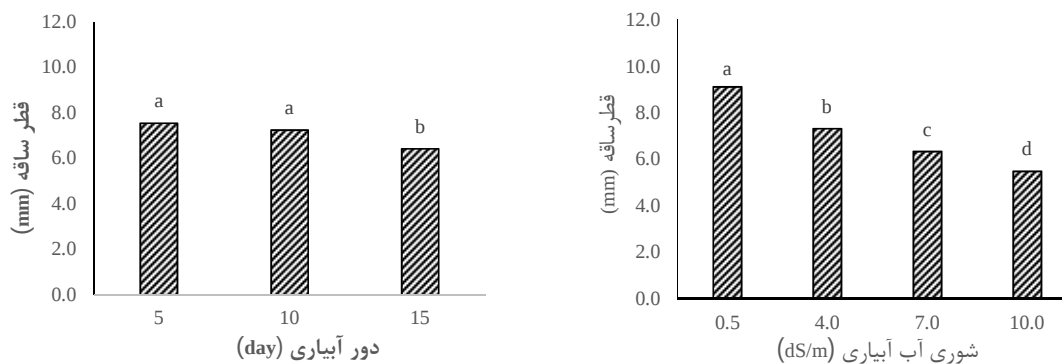
به ترتیب ۱۴/۸ و ۳۹/۹ درصد کاهش پیدا کرد. مشخص است که اثر شوری بر کاهش قطر ساقه بیشتر از اثر تنش خشکی بوده است. اختلاف قطر ساقه در دوره‌های ۵ و ۱۰ روز معنی‌دار نبود. بیشترین میانگین قطر ساقه مربوط به دور آبیاری ۱۰ روز و سطح شوری اول یعنی I_2S_1 و کمترین آن مربوط به دور آبیاری ۱۵ روز و بیشترین سطح شوری یعنی I_3S_4 بود. علی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) کاهش قطر ساقه در چند رقم پسته با افزایش شوری آب آبیاری را گزارش کردند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

خشک شاخساره در دور آبیاری ۵ و ۱۰ روز تفاوتی نداشته و این به دلیل مقاوم بودن پسته به شرایط خشکی است. کاهش ماده خشک در شرایط تنش می‌تواند به علت کاهش جذب آب به دلیل تنش اسمزی یا عدم جذب آب به دلایلی مانند بسته شدن بخشی از روزنه‌ها و در نتیجه کاهش تبادلات CO_2 و فتوسنتز باشد و منجر به کاهش انرژی لازم برای رشد گیاه و در نتیجه کاهش ماده خشک شود (ندیم و همکاران، ۲۰۱۴). کم شدن تولید ماده خشک ناشی از تنش شوری به دلیل هزینه انرژی متابولیک مربوط به سازگاری با شرایط تنش، کاهش نرخ فتوسنتز در واحد سطح برگ و آسیب به بافت‌ها است (میرمحمدی میبدی و قره یاضی، ۱۳۸۱). بناکار و همکاران (۱۳۹۳) نیز کاهش متوسط ۴۲ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی چند رقم پسته را در شرایط حداکثر شوری (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به شاهد گزارش کردند. سپاسخواه و همکاران (۱۹۸۵) نیز کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک شاخساره پسته رقم فندق را با اعمال بالاترین سطح شوری آب آبیاری (۸ دسی‌زیمنس بر متر) بیان کردند. دلیل اختلاف



قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس اثر شوری آب آبیاری و دور آبیاری بر قطر ساقه براساس جدول ۴ نشان داد که اثر این تیمارها بر قطر ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل شوری و خشکی بر آن معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین اثر دورهای مختلف آبیاری و سطوح مختلف شوری آب بر این پارامتر نیز در شکل ۳ آمده است. با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، قطر ساقه به طور معنی‌دار



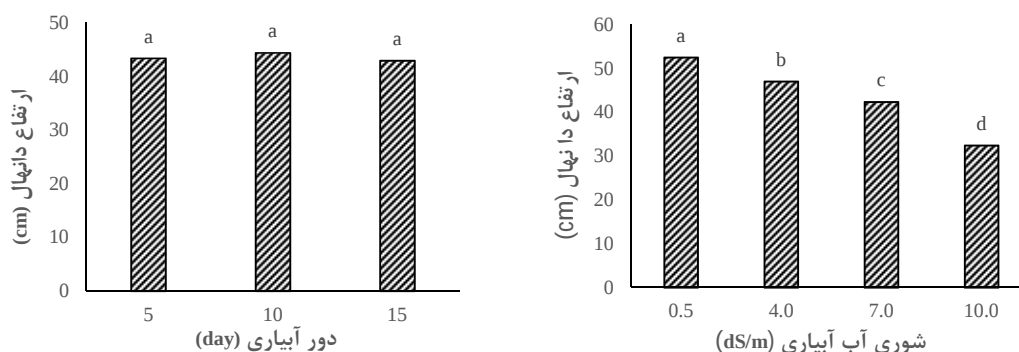
شکل ۳- مقایسه میانگین قطر ساقه دانه‌های پسته در دوره‌ها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).

به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر ارتفاع نهال ۳۸/۲ درصد کاهش یافت. با زیادشدن غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک افزایش می‌یابد؛ بنابراین مقدار انرژی که گیاه باید برای جذب آب از خاک مصرف کند افزایش پیدا می‌کند که این عمل افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد گیاه را در پی دارد (برانسون و همکاران، ۱۹۶۷). بناکار و همکاران (۱۳۹۳) نیز کاهش ۲۲ درصدی طول اندام هوایی چند رقم پسته را با افزایش شوری آب آبیاری به میزان ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند. پیچونی و همکاران (۱۹۹۰) نیز گزارش کردند که اعمال شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۳۳ درصدی در ارتفاع نهال پسته نسبت به تیمار شاهد شد.

ارتفاع دانه‌ها

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس (جدول ۴) بیان می‌کند که اثر شوری آب آبیاری در سطح یک درصد بر ارتفاع دانه‌های پسته معنی‌دار بود؛ اما اثر دوره‌های مختلف آبیاری و برهمکنش شوری و خشکی بر ارتفاع معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین‌های ارتفاع دانه‌ها در دوره‌ها و شوری‌های مختلف آب آبیاری در شکل ۴ آمده‌است. افزایش دور آبیاری تا ۱۵ روز کاهش معنی‌داری بر ارتفاع دانه‌ها ایجاد نکرده‌است؛ به‌طوری‌که در دور آبیاری ۱۵ روز نسبت به دور ۵ روز فقط به میزان ۰/۱ درصد کاهش وجود داشت؛ اما با افزایش شوری آب آبیاری ارتفاع نهال‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش داشت. با افزایش شوری از ۰/۵



شکل ۴- مقایسه میانگین ارتفاع دانه‌های پسته در دوره‌ها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

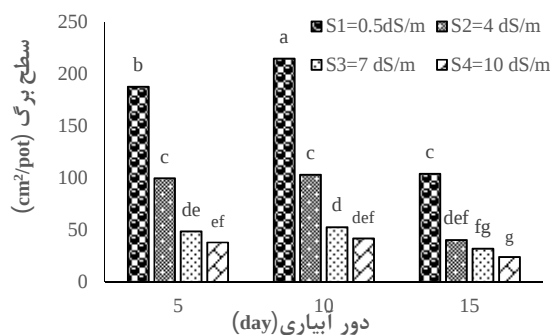
(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).

اندازه‌گیری شده سطح برگ در تیمارهای مختلف در شکل ۵ ارائه شده‌است. براساس این شکل بیشترین سطح برگ در دور آبیاری ۱۰ روز و سطح شوری شاهد مشاهده شد و مقدار آن به‌طور معنی‌داری از دوره‌های آبیاری ۵ و ۱۵ روز بیشتر بود. افزایش شوری آب آبیاری در هر دور آبیاری

سطح برگ

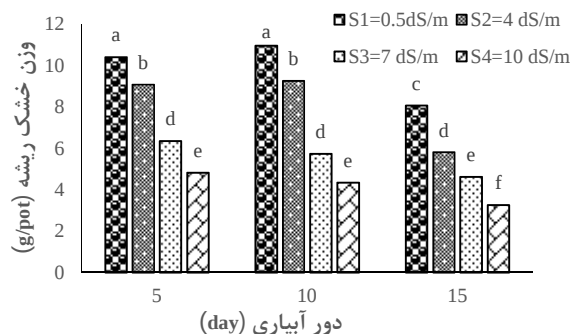
نتایج تجزیه واریانس اثر شوری آب آبیاری، کم‌آبیاری و برهمکنش شوری و کم‌آبیاری بر سطح برگ براساس جدول ۴ نشان داد که اثر این تیمارها بر سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های

I3S4 مشاهده شد. در سطوح شوری پایین یعنی تیمارهای S1 و S2 وزن خشک ریشه در دور آبیاری ۱۰ روز بیشتر از دور آبیاری ۵ روز بود و این نتیجه خشکی پسندی گیاه پسته را نشان می‌دهد؛ اما در شوری‌های بالاتر (S3 و S4) به دلیل اثر تنش شوری، گیاه در برابر خشکی نیز از رشد کمتری در ریشه برخوردار بوده‌است. در پژوهش بناکار و همکاران (۱۳۹۳) نیز کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه چند رقم پسته با افزایش شوری آب آبیاری بیان شده‌است.



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های سطح برگ پسته تحت اثر متقابل دورها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه پسته تحت اثر متقابل دورها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).

طول ریشه اصلی

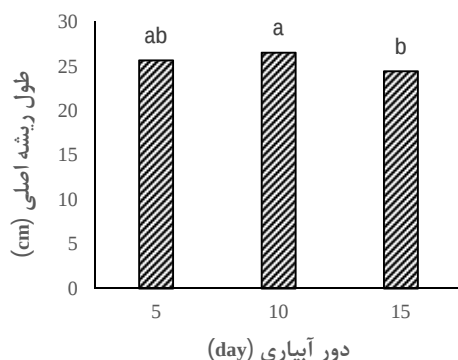
اثر شوری آب آبیاری و دور آبیاری بر طول ریشه اصلی در سطح یک درصد معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل شوری و دور آبیاری بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه

باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ شد؛ به‌طورکلی با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، سطح برگ به‌ترتیب ۴۶/۴ و ۷۹/۴ درصد کاهش پیدا کرد. اثر شوری بر کاهش سطح برگ خیلی بیشتر از اثر تنش خشکی بوده‌است. با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۰ روز سطح برگ به میزان ۹/۲ درصد افزایش نشان داد. در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش سرعت فتوسنتز و از بین رفتن برگ‌ها سطح برگ کاهش می‌یابد. کم‌شدن سرعت رشد برگ در اثر شوری غالباً به سبب افزایش فشار اسمزی است و با زیاد شدن شوری سلول‌های برگ آب خود را از دست می‌دهند و سرعت تقسیم و طول‌شدن آن‌ها کاهش پیدا می‌کند که این عوامل کوچک‌تر شدن اندازه نهایی برگ‌ها و کم‌شدن سطح آن‌ها را در پی دارد؛ بنابراین معمولاً اثر شوری بر سطح برگ از ارتفاع گیاه و وزن خشک بوته بیشتر است (برانسون و همکاران، ۱۹۶۷). کاهش سطح برگ پسته در شرایط تنش‌های شوری و خشکی با نتایج پژوهش انجام‌شده بر روی پسته (فتاحی و همکاران، ۱۴۰۰) همخوانی دارد.

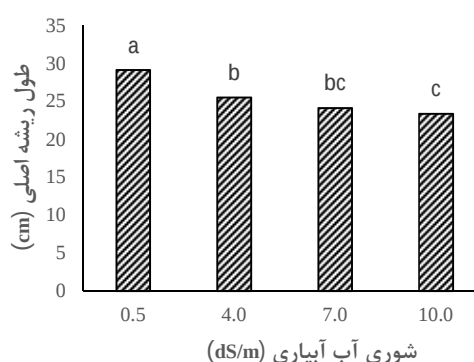
وزن خشک ریشه

با توجه به جدول ۴ اثر شوری آب آبیاری، دورهای آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌های اندازه‌گیری‌شده وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف در شکل ۶ ارائه شده‌است. براساس این شکل در هر دور آبیاری با افزایش شوری آب آبیاری وزن خشک ریشه از نظر آماری به‌طور معنی‌داری کاهش یافته‌است. تفاوت وزن خشک ریشه در دورهای آبیاری ۵ و ۱۰ روز در هیچ‌یک از سطوح شوری معنی‌دار نبود؛ درحالی‌که با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز، وزن خشک ریشه با افزایش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش شوری از تیمار شاهد به بیشترین سطح شوری یعنی از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر میانگین وزن خشک ریشه ۵۷/۸ درصد کاهش پیدا کرد. مقدار کاهش وزن خشک ریشه در دور آبیاری ۱۵ روز نسبت به دورهای ۵ و ۱۰ روز به‌ترتیب ۲۹ و ۲۸/۲ درصد بود. اثر شوری آب آبیاری بر کاهش وزن خشک ریشه خیلی بیشتر از اثر خشکی بود. بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار I2S1 و کمترین مقدار در تیمار

دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه به‌ترتیب ۴/۸ و ۱۹/۷ درصد کاهش پیدا کرد. مشخص است که اثر شوری بر کاهش طول ریشه بیشتر از اثر تنش خشکی بوده‌است. بیشترین میانگین طول ریشه مربوطه به دور آبیاری ۵ روز و سطح شوری اول یعنی I_1S_1 و کمترین آن مربوط به دور آبیاری ۱۵ روز و بیشترین سطح شوری یعنی I_3S_4 بود.



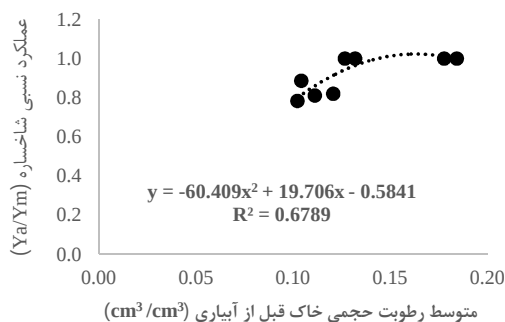
میانگین اثر دوره‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر این پارامتر نیز در شکل ۷ آمده‌است. بیشترین طول ریشه اصلی در همه سطوح شوری به جز تیمار شاهد (S_1)، در دور آبیاری ۱۰ روز مشاهده شد و مقدار آن به‌طور معنی‌داری از دور آبیاری ۱۵ روز بیشتر بود؛ اما تفاوت طول ریشه در دور ۱۰ روز نسبت به دور ۵ روز معنی‌دار نبود. افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش معنی‌دار در طول ریشه پسته شد. به‌طور کلی با افزایش



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های طول ریشه پسته در دوره‌ها و شوری‌های مختلف آب آبیاری

(وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد).

۵ روز درصد تخلیه رطوبتی ۲۷ درصد بوده که نشان می‌دهد در این دور آبیاری گیاه با تنش خشکی مواجه نبوده‌است. با وجود اینکه در دور آبیاری ۱۰ روز گیاه با تنش خشکی مواجه بوده، بررسی صفاتی مانند وزن خشک شاخساره و ریشه و سطح برگ نشان داد که مقادیر این پارامترها در سطوح S_1 و S_2 در دور آبیاری ۵ روز اختلاف معنی‌داری نداشتند و این خشکی‌پسندی پسته و حساس بودن آن در مقابل مقادیر بالای رطوبت در خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۸- رابطه بین عملکرد نسبی شاخساره پسته و متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری در طی فصل رشد در تیمارهای گروه

S_1

اثر دور آبیاری

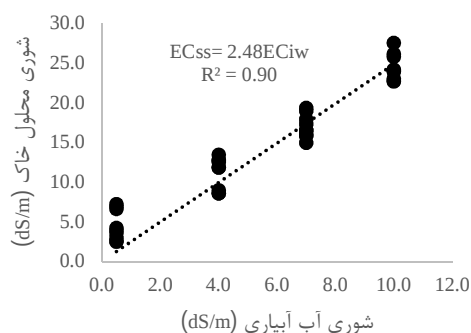
رابطه بین عملکرد نسبی شاخساره با متوسط رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری برای شرایط بدون شوری (تیمارهای گروه S_1) در شکل ۸ نشان داده شده‌است. براساس معادله رگرسیون که به‌صورت درجه دو است، رطوبت آستانه کاهش عملکرد نسبی شاخساره حدود ۱۸/۳ درصد حجمی و پتانسیل ماتریک متناظر با آن ۱/۲- بار تعیین شد. با توجه به این حد رطوبتی و رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، میزان آب سهل‌الوصول خاک برای تولید ماده خشک در شاخساره پسته ۴۱ درصد محاسبه شد.

حداقل رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری و پتانسیل ماتریک متناظر با آن و همچنین میزان تخلیه آب قابل‌دسترس در خاک برای دوره‌های مختلف آبیاری در جدول ۵ آورده شده‌است. با توجه به این جدول، میزان تخلیه رطوبت قابل‌استفاده در خاک برای دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز به‌ترتیب ۶۴ و ۸۸ درصد بوده‌است. با توجه به درصد آب سهل‌الوصول (۴۱ درصد) در این تیمارها گیاه با تنش رطوبتی مواجه بوده‌است؛ درحالی‌که در دور آبیاری

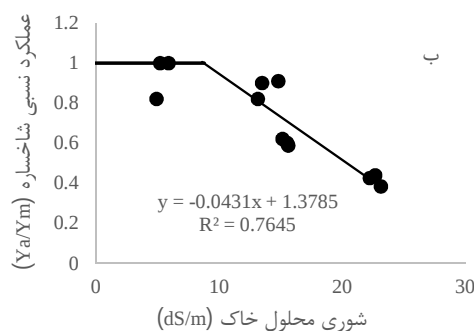
جدول ۵- حداقل رطوبت خاک قبل از آبیاری، میزان تخلیه آب قابل دسترس خاک و حداقل پتانسیل ماتریک در دوره‌های آبیاری مختلف

دور آبیاری (day)	حداقل رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (%)	میزان تخلیه آب قابل دسترس خاک (%)	حداقل پتانسیل ماتریک خاک (bar)
۵	۲۱	۲۷	-۰/۷۵
۱۰	۱۶	۶۴	-۲/۱
۱۵	۱۲/۵	۸۸	-۵/۷

عملکرد شاخساره و ریشه بودند (I2) رسم شد که در شکل ۱۰ ارائه شده است.



شکل ۹- رابطه بین تغییرات شوری آب زهکشی (محلول خاک) و شوری آب آبیاری

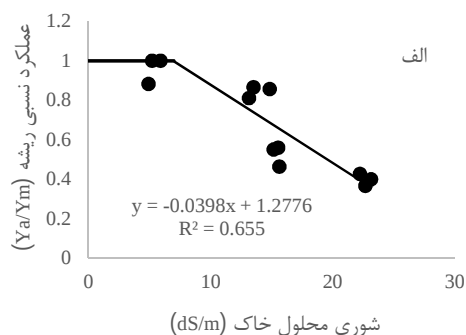


اثر آبشویی بر شوری خاک

رابطه بین شوری آب زهکشی و آبیاری در شکل ۹ نشان داده شده است. این رابطه خطی و شیب خط ۲/۴۸ بوده است. این به آن معنی است که شوری محلول خاک در همه تیمارهای رطوبتی به طور متوسط حدود ۲/۵ برابر شوری آب آبیاری بوده است. به عبارت دیگر اعمال ۳۰ درصد آبشویی در تیمارهای مختلف رطوبتی اثر مشابهی بر شوری محلول خاک یا همان آب زهکشی داشته است.

رابطه عملکرد نسبی شاخساره و ریشه با متوسط شوری محلول خاک

رابطه بین عملکرد نسبی شاخساره و ریشه با متوسط شوری محلول خاک در طول فصل رشد در تیمارهای با دور آبیاری ۱۰ روز که به طور متوسط دارای بیشترین



شکل ۱۰- تغییرات عملکرد نسبی شاخساره (الف) و ریشه (ب) نسبت به متوسط شوری محلول خاک در طی فصل رشد در دور آبیاری ۱۰ روز

به عبارت دیگر با افزایش شوری، ریشه ضمن ادامه روند جذب آب سعی در افزایش ماده خشک در بخش شاخساره دارد؛ یعنی رشد شاخساره پسته در شوری‌های بالاتری شروع به کاهش می‌کند. شیب کاهش عملکرد به ازای افزایش یک واحد شوری محلول خاک تقریباً برای هر دو بخش شاخساره و ریشه حدود ۴ درصد بوده است. حد آستانه شوری آب آبیاری و خاک برای پسته رقم کرمان به ترتیب ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (ساندن و همکاران،

از بین داده‌های مرتبط به تیمار گروه S1 که عملکرد نسبی آن‌ها یک بوده، خط افقی و از بین بقیه تیمارهای شوری رگرسیون خطی برازش داده شد. با توجه به معادلات خط رگرسیون، حد آستانه شوری محلول خاک برای کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه در دور آبیاری ۱۰ روز به ترتیب برابر با ۸/۸ و ۷/۰ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. این حدود آستانه نشان می‌دهد که رشد ریشه در شوری کمتری شروع به کاهش می‌کند؛

رطوبت سهل‌الوصول برای تولید ماده خشک شاخساره در دانه‌های دو ساله پسته رقم بادامی محلی اردکان، ۴۱ درصد تعیین شد.

نتایج حدود آستانه شوری محلول خاک برای کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه در دور آبیاری ۱۰ روز برای دانه‌های دو ساله پسته رقم بادامی، به ترتیب برابر با ۸/۸ و ۷/۰ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد که بیانگر این موضوع است که کاهش ماده خشک شاخساره پسته نسبت به ماده خشک ریشه در حد شوری بالاتری اتفاق می‌افتد. شیب کاهش عملکرد به ازای افزایش یک واحد شوری محلول خاک برای هر دو بخش شاخساره و ریشه حدود ۴ درصد به دست آمد. حدود آستانه تحمل شوری در مدیریت آبیاری بسیار حائز اهمیت است. به طور کلی براساس نتایج این پژوهش، در شرایط تنش‌های شوری و خشکی تمامی صفات رویشی دانه‌های پسته کاهش پیدا کرد. همچنین حساسیت دانه‌های پسته رقم بادامی به تنش شوری بیش از تنش خشکی بود؛ اما طبق نتایج حاصل دانه‌های پسته رقم بادامی به عنوان یک پایه مقاوم به شوری محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

از ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان به دلیل دراختیار قرار دادن گلخانه برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. باغانی ج.، علیزاده ا.، انصاری ح. و عزیزی م. ۱۳۹۴. اثر کیفیت آب و مدیریت کاربرد آب شور در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب در خربزه دیررس. نشریه آب و خاک. ۲۹(۳): ۵۶۰-۵۶۸.
۲. باقری و.، شمشیری م. ح.، شیرانی ح. و روستا ح. ر. ۱۳۹۰. اثر قارچ میکوریز-آربسکولار و تنش خشکی بر رشد، روابط آبی، تجمع پرولین و قندهای محلول در نهال‌های دو رقم پایه‌ای پسته اهلی (*Pistacia vers* L.). مجله علوم باغبانی ایران. ۴۲(۴): ۳۶۵-۳۷۷.
۳. بناکار م. ح.، رحیمیان م. ح.، رنجبر غ. و شیران تفتی م. ۱۳۹۳. تأثیر آبیاری با آب شور بر اندام

(۲۰۰۴)، حد آستانه عصاره اشباع خاک برای چند رقم پسته ۸/۷ دسی‌زیمنس بر متر (پیچیونی و همکاران، ۱۹۹۰) و برای ارقام پسته آشوری و آتلانتیکا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (ابوشارر، ۱۹۹۴) گزارش شده است. در پژوهشی، حد مجاز شوری آب آبیاری برای درختان پسته بارور حدود ۵ و حد شوری برای تولید بحرانی (عملکردی که ارزش محصول تولیدی با هزینه‌های جاری یک سال زراعی تقریباً برابر باشد) حدود ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد (زین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۸). به طور کلی پژوهش‌های انجام شده بر پسته، حاکی از آن است که مقاومت ارقام مختلف پسته، نسبت به خشکی و شوری متفاوت است که شاید مهم‌ترین دلیل آن، سیستم ریشه‌ای متفاوت در ارقام مختلف باشد. پیشنهاد حدی برای آستانه شوری آب آبیاری بستگی به شرایط شوری اولیه خاک و درصد آبشویی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر شوری آب آبیاری، خشکی و برهمکنش آن‌ها بر صفات رشدی نهال‌های پسته نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری و شوری آب آبیاری بر همه صفات اندازه‌گیری شده به جز ارتفاع دانه‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود؛ در حالی که اثر برهمکنش دور آبیاری و شوری بر تبخیر-تعرق کل دوره، سطح برگ و وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. با افزایش شوری از مقدار ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک شاخساره ۶۰/۱ درصد کاهش پیدا کرد. افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز نیز باعث کاهش ۲۷/۱ درصدی میانگین وزن خشک شاخساره شد. مشخص است که تنش شوری باعث کاهش قابل توجهی در وزن خشک شاخساره شده است، در حالی که اثر خشکی کمتر بوده است. با افزایش شوری از تیمار شاهد به بیشترین سطح شوری یعنی از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر میانگین وزن خشک ریشه ۵۷/۸ درصد کاهش پیدا کرد. مقدار کاهش وزن خشک ریشه در دور آبیاری ۱۵ روز نسبت به دوره‌های ۵ و ۱۰ روز به ترتیب ۲۹ و ۲۸/۲ درصد بود. به طور کلی اثر شوری بر کاهش رشد شاخساره و ریشه پسته بیشتر از اثر خشکی بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفاتی مانند وزن خشک ریشه و شاخساره و سطح برگ، نشان داد که بهترین دور آبیاری برای پسته در شرایط گلخانه دور ۱۰ روز بود. حد

- Dirasat. Seviess- B, Pure and Applied Science. 21(5): 193-206.
13. Ayers R. S. and Westcot D. W. 1985. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nation, Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rome, Italy.
 14. Branson F. A. Miller R. F. and Mcqueen I. S. 1967. Geographic distribution and factors affecting the distribution of salt desert shrubs in the United State. Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives. 20(5): 287-296.
 15. Hajiboland R. Norouzi F. and Poschenrieder Ch. 2014. Growth, physiological, biochemical and ionic responses of pistachio seedlings to mild and high salinity. Trees. 28: 1065-1078.
 16. Jamshidi Goharizi K. Baghizadeh A. Kalantar M. and Fatehi F. 2021. Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. Scientia Horticulturae. 261: 1-13.
 17. Marino G. Zaccaria D. Snyder R. L. Lagos O. Lampinen B. D. Ferguson L. Grattan S. R. Little C. Shapiro K. Maskey M. L. and Corwin D. L. 2019. Actual evapotranspiration and tree performance of mature micro-irrigated pistachio orchards grown on saline-sodic soils in the San Joaquin Valley of California. Agriculture. 9(4):1-21.
 18. Nadeem S. M. Ahmad M. Zahir Z. A. Javaid A. and Ashraf M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. Biotechnology Advances. 32(2): 429-448.
 19. Oustric J. Morillon R. Luro F. Herbet S. Lourkisti R. Giannettini J. Berti L. and Santini J. 2017. Tetraploid Carrizo citrange rootstock (*Citrus sinensis* Osb. × *Poncirus trifoliata* L. Raf.) enhances natural chilling stress tolerance of common clementine (*Citrus clementina* Hort. ex Tan). Journal of plant physiology. 214: 108-115.
 20. Parsa A. A. and Karimian N. A. 1975. Effect of sodium chloride on seedling growth of two major varieties of two major varieties of Iranian pistachio. Journal of Horticultural Science. 50: 41-46.
 21. Picchioni G.A. Miyamoto S. and Storey J.B. 1990. Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings. Journal of American Society of Horticultural Sciences. 115(4): 647-653.
 22. Rahneshan Z. Nasibi F. and Ahmadi Moghadam A. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, هوایی و ریشه‌ی دانه‌های پنج رقم پسته استان یزد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۲): ۳۴۱-۳۵۱.
 ۴. حسینی ی. بابازاده ح. و خاکپورعلی ب. ۱۳۹۴. ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۴): ۵۰۹-۵۲۳.
 ۵. رضوی نسب ا. شیرانی ح. تاج‌آبادی پور ا. و دشتی ح. ۱۳۹۰. تأثیر شوری و ماده‌ی آلی بر ترکیب شیمیایی و مرفولوژی نهال‌های پسته. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۱۳(۱): ۴-۳۱.
 ۶. زینی‌الدینی میمند ع. امیرپور رباط م. ابراهیمی میمند ف. و اسفندیاری پور پ. ۱۳۹۸. طبقه‌بندی ویژگی‌های مهم کیفیت آب‌های آبیاری و بررسی تأثیر آن‌ها بر عملکرد پسته. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۰(۲): ۲۹۲-۳۰۲.
 ۷. علی‌پور ح. کافی م. نظامی ا. و محمدی ا. ح. ۱۳۹۶. بررسی تحمل به شوری دانه‌های ارقام تجاری و ژنوتیپ‌های پسته (*Pistacia vera* L.). منطقه رفسنجان در شرایط کنترل‌شده. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(۱): ۷۰-۸۰.
 ۸. فتاحی م. محمدخانی ع. شیران ب. بانی‌نسب ب. و راوش ر. ۱۴۰۰. بررسی اثر هم‌زیستی قارچ مایکوریزا آریسکولار بر برخی پایه‌های پسته در شرایط تنش شوری و خشکی. به‌زراعی کشاورزی. ۲۳(۳): ۶۶۷-۶۸۲.
 ۹. محمدی م. لیاقت ع. و مولوی ح. ۱۳۹۰. اثر توأم تنش شوری و خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط مزرعه‌ای. ۳۴(۱): ۱۵-۲۳.
 ۱۰. میرمحمدی میبدی س. ع. م. و قره‌یاضی ب. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۸۸ ص.
 ۱۱. همایی م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. چاپ اول. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۵۸. ۹۷ ص.
 12. Abu-sharer T. M. 1994. Productivity of pistachio trees under saline condition.

- biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. Journal of Plant Interactions. 13(1): 73-82.
23. Sanden B. L. Ferguson L. Rayers M. C. and Gratten S. C. 2004. Effect of salinity and evapotranspiration and yield of san Jouquin vally pistachios. Procceding of the Ivlh international symposium of irrigation of horticultural crops. Acta Horticulture. 664: 583-589.
 24. Sepaskhah A. R. and Maftoun M. 1981. Growth and chemical composition of Pistachio cultivars as influenced by irrigation regimes and salinity levels of irrigation water. I. Growth. Journal of Horticultural Science. 56(4): 277-284.
 25. Sepaskhah A. R. and Yarami N. 2009. Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 84 (2): 216-222.
 26. Sepaskhah A. R. Maftoun M. and Karimian N. 1985. Growth and chemical composition of Pistachio as affected by salinity and applied iron. Journal of Horticultural Science. 60(1): 115-121.
 27. Van Genuchten M.Th. Leij F.J. and Yates S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils. EPA/ 600/ 291/065. USEPA, Ada. Oklahoma, American.