

## تأثیر فسفر و تنش آبی بر رشد، برخی روابط آبی و غلظت عناصر نهال‌های پسته در شرایط گلخانه

نادیا بشارت\*، احمد تاج‌آبادی‌پور و وحید مظفری<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۳)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد فسفر بر رشد، روابط آبی و غلظت عناصر نهال‌های پسته (رقم بادامی زرنند) تحت تنش آبی، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل ۶ سطح فسفر (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع اسید فسفریک) و ۳ دور آبیاری (۲، ۴ و ۸ روز) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش تنش آبی، پارامترهای رشدی به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. به طوری که با افزایش دور آبیاری به ۸ روز، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه، سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع ساقه نسبت به شاهد کاهش یافتند. تنش آبی هم‌چنین موجب کاهش معنی‌دار پارامترهای فتوسنتزی شد. غلظت فسفر و روی نیز با افزایش تنش آبی روندی کاهشی داشتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای رشدی، شدت تعرق و فتوسنتز نداشت. چنان‌که نظر می‌رسد که میزان فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن (۵/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) برای رشد بهینه نهال‌های پسته کافی بوده و بنابراین، عکس‌العمل مثبت رشدی به کاربرد فسفر دیده نشد. با افزایش کاربرد فسفر، غلظت فسفر افزایش و غلظت روی کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، فسفر، رشد، فتوسنتز، پسته

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ahtajabadi@yahoo.com.au

## مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) یکی از مهم‌ترین تولیدات ایران و آمریکاست که به عنوان یک گونه مقاوم به خشکی و شوری محسوب می‌شود (۲۳). پسته گیاهی نیمه‌گرمسیری از خانواده Anacardiaceae و از عمده‌ترین محصولات صادراتی غیرنفتی می‌باشد. در حال حاضر بالغ بر ۴۷۰ هزار هکتار باغ پسته‌ی بارور و غیربارور در کشور وجود دارد که بیش از ۷۰ درصد از این باغ‌ها در استان کرمان قرار دارند (۴). آب و عناصر غذایی دو فاکتور بسیار مهم کنترل‌کننده رشد گیاهان محسوب می‌شوند (۲۴). خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاه، شایع‌ترین تنش محیطی است که تقریباً تولید ۲۵ درصد از اراضی جهان را محدود ساخته است (۳۴). تنش رطوبتی بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی از قبیل فتوسنتز، رشد، تقسیم و توسعه‌ی سلولی و تجمع و انتقال مواد غذایی مؤثر است (۶). خشکی‌های طولانی‌مدت باعث افزایش نسبت ریشه به ساقه، کمتر و کوچک‌تر شدن برگ‌ها، کاهش وزن کل گیاه و افزایش غلظت مواد محلول در سلول‌های برگ می‌گردند (۴۴). کمبود آب در هر مرحله‌ای از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را نیز کاهش می‌دهد و در نتیجه بر رشد و عملکرد گیاه اثر می‌گذارد. به‌عبارت دیگر، کاهش رشد بر اثر تنش‌های رطوبتی تا حدی به اثرات تغذیه‌ای مربوط می‌شود (۳۲).

به‌طور کلی کاهش جذب عناصر در شرایط تنش آبی به دلیل اختلال در مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی (هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق گیاه، جریان توده‌ای، انتشار و یا پدیده اسمزی) به تبعیت از کاهش مقدار رطوبت خاک و ریشه می‌باشد (۲۸). مدیریت کوددهی نیز، تولیدات گیاهی را تحت شرایط تنش آبی به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. کوددهی می‌تواند قابلیت دسترسی عناصر محدود را افزایش داده و تحت شرایط خشک و غیرحاصلخیز باعث تحریک رشد گیاه، افزایش مقاومت به تنش و بهبود راندمان استفاده از منابع محدود گردد (۴۲). از سوی دیگر بسیاری مطالعات نشان

می‌دهند که کوددهی تحت شرایط خشک اغلب منجر به کاهش بایومس ریشه، افزایش حساسیت برگ به تنش و کاهش رشد گیاه می‌گردد (۴۵). بنابراین افزودن عناصر غذایی می‌تواند مقاومت گیاه را به تنش آبی افزایش و یا کاهش دهد و یا این‌که تأثیری بر آن نداشته باشد، که این موضوع به قابلیت دسترسی آب بستگی دارد (۵۰).

نتایج تحقیق بای و همکاران (۱۵) نشان می‌دهد که به‌منظور کاهش کمتر محصول در شرایط تنش آبی، استفاده از کودهای آلی و مواد معدنی از قبیل فسفر و نیتروژن می‌تواند باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش گردد. فسفر از عناصر اصلی پرمصرف گیاه است که بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود و با توجه به این‌که جزء اصلی اسیدنوکلئوتیدها، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها و دی‌نوکلئوتیدهاست، به کلید اصلی کشاورزی معروف می‌باشد (۲۸). اگرچه مقدار فسفر در اغلب خاک‌ها فراتر از نیاز گیاهی است، اما به‌دلیل pH بالا و آهکی بودن خاک‌ها، بخش اعظم این منبع برای گیاه به‌صورت غیرقابل جذب می‌باشد (۲۷). مقدار فسفر در زیر سطح بهینه، به کاهش عملکرد از ۵ تا ۱۵ درصد حداکثر عملکرد منجر می‌شود (۴۳). حد بحرانی فسفر در خاک، ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در برگ پسته، ۰/۱ تا ۰/۱۴ درصد ماده خشک می‌باشد (۳). هو و شمید هالتر (۲۸) گزارش کردند که اضافه کردن فسفر یا به کاربردن مدیریت‌هایی جهت افزایش جذب فسفر، در بسیاری موارد در شرایط خشک بسیار مهم می‌باشد و می‌تواند رشد گیاه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشد. پرمچاندرا و همکاران (۳۵) طی تحقیقی بیان نمودند که کاربرد فسفر تحت شرایط خشکی، سازگاری به کمبود آب و میزان رشد گیاه را از طریق افزایش استحکام غشای سلولی، کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش توانایی تنظیم اسمزی افزایش می‌دهد. بنابراین، نتیجه‌گیری نمودند که عرضه فسفر اضافی ممکن است، به‌منظور افزایش مقاومت گیاه به خشکی مفید باشد. گراهام و وب (۲۵) بیان می‌کنند که در شرایط متفاوت رطوبتی خاک، تأثیر کود فسفر بر

۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع اسید فسفریک) و ۳ دور آبیاری (۲، ۴ و ۸ روز) بودند. برای شروع آزمایش، مقدار ۴ کیلوگرم خاک درون کیسه های پلاستیکی ۸ کیلویی ریخته و بر اساس نتایج آزمون خاک، ۵۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره به تمامی خاکها افزوده و سطوح مختلف فسفر طبق طرح مورد نظر به صورت محلول به خاک داخل کیسه ها اضافه شد. پس از رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی، خاک موجود در هر کیسه به خوبی مخلوط و به داخل ۵۴ گلدان پلاستیکی ۴ کیلوگرمی منتقل گردید. بذرها پسته (رقم بادامی زرنند) از مؤسسه تحقیقات پسته کشور تهیه و پس از جداسازی پوست سخت و شست و شو با محلول وایتکس ۱۰ درصد و آب مقطر استریل، با قارچ کش بنومیل ضد عفونی و سپس تا مرحله جوانه زنی به مدت چند روز، میان پارچه های متقال مرطوب استریل در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شد.

در هر گلدان، ۸ بذر جوانه زده در عمق ۳ سانتی متری خاک کشت گردید و سپس گلدانها آبیاری شده و رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی رسانده شد. میزان رطوبت زراعی خاک مورد استفاده در حدود ۱۵ درصد وزنی بود که با توجه به وزن خاک خشک گلدان (۴ کیلوگرم) میزان آب مصرفی ۶۰۰ میلی لیتر به دست آمد. تا قبل از اعمال تیمارها، رطوبت گلدانها هر روز توسط آب مقطر با توزین مرتب آنها در حد ظرفیت زراعی حفظ گردید. در هفته ۷ پس از کاشت، تعداد نهالها به ۵ بوته در هر گلدان تقلیل داده شد و دورهای آبیاری در تیمارهای مورد نظر اعمال گردید.

آبیاری گلدانها در هر دور آبیاری تا حد ظرفیت زراعی تعیین شده انجام گردید و مقدار آب باقی مانده در خاک، قبل از آبیاری با توزین گلدانها اندازه گیری شد. آب اضافه شده تنها به مصرف تبخیر - تعرق گلدانها رسیده و هیچ زهکشی از زیر گلدانها صورت نگرفت. برای تخمین تبخیر از سطح خاک، گلدانهایی مشابه ولی بدون گیاه، در بین گلدانها قرار داده شد که در هر نوبت آبیاری به طور جداگانه با توزین آنها تبخیر از

جذب یکسان نمی باشد، زیرا از یک طرف جریان توده ای آب از عوامل مؤثر بر حرکت فسفر در خاک به سمت ریشه می باشد و از طرف دیگر غلظت فسفر در ناحیه ی توسعه ریشه بر جذب فسفر و دیگر عناصر توسط ریشه مؤثر است. بنابراین، تحقیق در ارتباط با رژیم رطوبتی و بررسی عوامل مؤثر بر افزایش مقاومت به خشکی، امکان استفاده بهتر از امکانات بخش کشاورزی را میسر نموده و موجب توسعه سطح زیر کشت و افزایش بازده تولید در مناطق خشک و نیمه خشک می گردد (۹). با توجه به نقش فسفر در گیاه و مشکل کم آبی در خاکهای تحت کشت پسته، هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر فسفر و تنش آبی بر رشد، روابط آبی و غلظت برخی عناصر نهالهای پسته و نیز ارزیابی تأثیر فسفر بر مقاومت نسبی این گیاه به تنش آبی است.

## مواد و روشها

خاک مورد مطالعه ( Coarse Loamy, Mixed, Semi Active, ) (Calcareous, Thermic, Typic Torrifluvents) (۸) به مقدار کافی از عمق ۰-۳۰ سانتی متری، از یکی از مناطق پسته خیز استان کرمان (۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان سیرجان) که از نظر شوری و فسفر قابل استفاده در حد پایینی بود، تهیه گردید. پس از هوا خشک نمودن خاک و عبور از الک ۲ میلی متری بعضی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله pH در گل اشباع به وسیله ی الکتروود شیشه ای (۳۷)، بافت به روش هیدرومتر (۱۷)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه EC متر، درصد کربن آلی (۵۱)، فسفر قابل استفاده (۳۳)، غلظت پتاسیم قابل تبادل از طریق عصاره گیری توسط روش استات آمونیوم (۲۹) و ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تعیین گردید (جدول ۱).

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه دانشکده ی کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان انجام شد. تیمارها شامل ۶ سطح فسفر (۰، ۳۰،

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

| بافت    | رس  | سیلت | K   | P   | OM  | PWP | FC | pH  | EC <sub>e</sub>   |
|---------|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-------------------|
|         |     |      |     |     |     |     |    |     | dSm <sup>-1</sup> |
|         |     |      |     |     |     |     |    |     | %                 |
| لوم شنی | ۵/۵ | ۲۳/۱ | ۱۰۰ | ۵/۴ | ۰/۵ | ۳/۰ | ۱۵ | ۷/۵ | ۱                 |

تحلیل آماری قرار گرفت و در نهایت با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و WORD نسبت به رسم نمودارها، جدولها و نمایش اطلاعات اقدام گردید.

### نتایج و بحث

#### الف) وزن خشک اندام هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر سطوح مختلف فسفر و تنش آبی و همچنین اثرات متقابل آنها، بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه معنی دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگینها با استفاده از آزمون دانکن در جدول ۴ نشان می دهد که میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه با افزایش دور آبیاری روندی کاهشی داشت. به گونه ای که وزن خشک اندام هوایی و ریشه در دور آبیاری ۴ روزه به ترتیب ۳۶ و ۱۶ درصد و در دور آبیاری ۸ روزه به ترتیب ۵۶ و ۴۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همان طور که دیده می شود حداکثر کاهش رشد در دور آبیاری ۸ روزه صورت گرفته است، که این دور آبیاری معادل با پتانسیل ماتریک ۰/۶۲ - مگاپاسکال و ۹۹ درصد کاهش در رطوبت قابل استفاده گیاه می باشد. در دور آبیاری ۴ روزه ۱۶ درصد از رطوبت قابل استفاده برای رشد بهینه گیاه موجود می باشد (جدول ۲). همان طور که مشاهده می شود، ریشه نسبت به اندام هوایی به میزان کمتری تحت تأثیر تنش آبی قرار گرفته و با افزایش دور آبیاری وزن خشک آن کاهش کمتری نشان داده است. کاهش در وزن خشک کل احتمالاً به دنبال کاهش قابل توجه در رشد گیاه، فتوسنتز و ساختار تاج پوشش در طول کمبود آب می باشد (۴۱). کاهش رشد پسته با افزایش تنش آبی توسط محققان مختلفی گزارش شده است (۳۸، ۴۰ و ۴۸).

سطح خاک به دست آمد. از تفاضل تبخیر سطحی خاک از تبخیر - تعرق گلدانها، میزان تعرق محاسبه شد و از تقسیم میزان تعرق به سطح برگ شدت تعرق تعیین گردید. درصد رطوبت وزنی خاک، درصد کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک و حداقل مکش ماتریک برای دورهای مختلف آبیاری در جدول ۲ ارائه شده اند.

در هفته ۲۲ پس از کاشت، میزان فتوسنتز نهالها توسط دستگاه infrared gas analyzer اندازه گیری گردید. در پایان دوره ی رشد (پس از گذشت حدود ۶ ماه از کشت) نهالها از محل طوقه قطع و برگ و ساقه آنها جدا شده و ریشه ها نیز از خاک خارج گردیدند. تعداد برگ های باقی مانده، ارتفاع ساقه و سطح برگ ها (با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ) اندازه گیری شد. نمونه ها پس از شست و شو با آب معمولی و آب مقطر، هوا خشک شده و سپس در پاکت های کاغذی مخصوص به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجه ی سلسیوس قرار داده شدند تا وزن آنها به حد ثابتی برسد. پس از توزین جداگانه اندام هوایی (برگ و ساقه) و ریشه های خشک شده، نمونه ها توسط آسیاب برقی پودر گردیدند. برای تهیه عصاره، نیم گرم از نمونه های پودر شده ریشه و اندام هوایی توزین گردید و در دمای ۵۵۰ درجه ی سلسیوس به روش خشک سوزانی، خاکستر و با اسید کلریدریک عصاره گیری شدند. در عصاره ی به دست آمده، غلظت فسفر با استفاده از روش زرد وانادات توسط اسپکتروفتومتر و غلظت روی به وسیله ی دستگاه جذب اتمی مدل GBC Avanta ver.1.33 تعیین شدند. در پایان، پاسخ های گیاهی با استفاده از نرم افزار کامپیوتری MSTATC و با انجام آزمون دانکن مورد تجزیه و

جدول ۲. درصد رطوبت وزنی خاک، درصد کاهش رطوبت قابل استفاده و حداقل مکش ماتریک در رژیم‌های مختلف آبیاری

| دور آبیاری (روز) |     |     |                                |
|------------------|-----|-----|--------------------------------|
| ۸                | ۴   | ۲   |                                |
| ۳/۸              | ۵/۵ | ۸   | درصد رطوبت وزنی خاک            |
| ۹۹               | ۸۴  | ۶۳  | کاهش رطوبت قابل استفاده (درصد) |
| ۰/۶              | ۰/۵ | ۰/۲ | حداقل مکش ماتریک (- مگاپاسکال) |

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثرات مختلف تنش آبی و فسفر بر پارامترهای رشدی نهال‌های پسته

| میانگین مربعات    |            |                          |                      |                     |
|-------------------|------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| منبع تغییرات      | درجه آزادی | وزن خشک اندام هوایی      | وزن خشک ریشه         | ارتفاع ساقه         |
| فسفر              | ۵          | ۶/۵***                   | ۴/۲**                | ۱۵/۳**              |
| دور آبیاری        | ۲          | ۱۷۵/۲***                 | ۶۹/۸***              | ۷۰/۱***             |
| فسفر × دور آبیاری | ۱۰         | ۲/۴*                     | ۱/۹*                 | ۲/۵ <sup>ns</sup>   |
| کواریانس          | ۱          | ۱۷/۲                     | ۲۲/۹                 | ۱۰/۲                |
| خطا               | ۳۵         | ۱/۱                      | ۰/۹                  | ۳/۲                 |
| منبع تغییرات      | درجه آزادی | نسبت اندام هوایی به ریشه | سطح برگ              | تعداد برگ           |
| فسفر              | ۵          | ۰/۰۳ <sup>ns</sup>       | ۹۰۴۶/۷ <sup>ns</sup> | ۱۴۸/۷ <sup>ns</sup> |
| دور آبیاری        | ۲          | ۰/۵***                   | ۵۲۶۸۰۵/۷***          | ۹۹۴۰/۱***           |
| فسفر × دور آبیاری | ۱۰         | ۰/۰۷ <sup>ns</sup>       | ۹۴۱۹/۲ <sup>ns</sup> | ۲۲۳/۳*              |
| کواریانس          | ۱          | ۰/۰۱                     | ۱۵۵۵۵/۴              | ۷۰/۷                |
| خطا               | ۳۵         | ۰/۰۴                     | ۴۸۳۵/۸               | ۸۷/۵                |

\*, \*\* و \*\*\*: به ترتیب در سطح پنج، یک و یک-دهم درصد معنی‌دار است. <sup>ns</sup>: از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

(جدول ۴) بیانگر کاهش وزن خشک با افزایش دور آبیاری در سطوح مختلف فسفر می‌باشد. کاربرد فسفر تحت شرایط تنش (دور ۴ و ۸ روزه آبیاری) تأثیر معنی‌داری بر این وزن نداشت. به عبارت دیگر در شرایط مطلوب آبیاری، مصرف فسفر افزایش وزن خشک اندام هوایی را به دنبال داشت، ولی در شرایط تنش چنین روندی دیده نشد و تأثیر فسفر معنی‌دار نگردید و در واقع کاربرد فسفر توانست مانع کاهش وزن خشک با افزایش تنش آبی گردد. می‌توان گفت در شرایط تنش، کارایی فسفر در جلوگیری از کاهش وزن خشک بیشتر شده است. اثرات مثبت کاربرد فسفر روی رشد گیاه (بخصوص در شرایط مطلوب آبیاری) را می‌توان به افزایش راندمان مصرف آب، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، استحکام غشای سلولی

نتایج موجود در ارتباط با تأثیر سطوح مختلف فسفر بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه (جدول ۴) نشان می‌دهد که کاربرد سطوح بالای فسفر تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک این اندام‌ها نداشت. شاید بتوان عدم پاسخ مناسب گیاه را به کاربرد سطوح مختلف فسفر، کافی بودن میزان فسفر خاک (۵/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) برای تأمین حداقل نیازهای گیاه در مرحله نهالی دانست. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که اگرچه فسفر به‌عنوان یک کود پایه مدنظر است اما مصرف اضافی و نامناسب آن (احتمالاً به دلیل اختلالات تغذیه‌ای در نتیجه‌ی برهم‌کنش این عنصر با سایر عناصر، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف) ممکن است سبب کاهش عملکرد گردد. نتایج مربوط به تأثیر برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی

جدول ۴. تأثیر فسفر و دور آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال‌های پسته (گرم در گلدان)

| میانگین                            | رژیم آبیاری (روز)  |                    |                    | سطوح فسفر<br>(میلی گرم در کیلوگرم) |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|
|                                    | ۸                  | ۴                  | ۲                  |                                    |
| وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) |                    |                    |                    |                                    |
| ۷/۵A                               | ۴/۹ <sup>hij</sup> | ۷/۱ <sup>efg</sup> | ۱۰/۵ <sup>bc</sup> | ۰                                  |
| ۶/۲B                               | ۳/۳ <sup>j</sup>   | ۵/۶ <sup>ghi</sup> | ۹/۶ <sup>bcd</sup> | ۳۰                                 |
| ۷/۷A                               | ۵/۳ <sup>ghi</sup> | ۶/۶ <sup>e-h</sup> | ۱۱/۳ <sup>ab</sup> | ۶۰                                 |
| ۸/۴A                               | ۴/۵ <sup>ij</sup>  | ۷/۸ <sup>def</sup> | ۱۳/۰ <sup>a</sup>  | ۹۰                                 |
| ۸/۵A                               | ۶/۰ <sup>f-i</sup> | ۷/۲ <sup>efg</sup> | ۱۲/۴ <sup>a</sup>  | ۱۲۰                                |
| ۷/۵A                               | ۴/۹ <sup>hij</sup> | ۸/۱ <sup>de</sup>  | ۹/۴ <sup>cd</sup>  | ۱۵۰                                |
|                                    | ۴/۸C               | ۷/۱B               | ۱۱/۰A              | میانگین                            |
| وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)        |                    |                    |                    |                                    |
| ۶/۶A                               | ۴/۶ <sup>fg</sup>  | ۷/۱ <sup>bcd</sup> | ۸/۰ <sup>abc</sup> | ۰                                  |
| ۵/۰B                               | ۳/۴ <sup>g</sup>   | ۴/۹ <sup>fg</sup>  | ۶/۷ <sup>cde</sup> | ۳۰                                 |
| ۶/۶A                               | ۴/۷ <sup>fg</sup>  | ۵/۸ <sup>def</sup> | ۹/۲ <sup>a</sup>   | ۶۰                                 |
| ۶/۷A                               | ۳/۴ <sup>g</sup>   | ۷/۹ <sup>abc</sup> | ۸/۵ <sup>ab</sup>  | ۹۰                                 |
| ۶/۸A                               | ۵/۱ <sup>efg</sup> | ۷/۷ <sup>abc</sup> | ۷/۶ <sup>abc</sup> | ۱۲۰                                |
| ۶/۲A                               | ۳/۷ <sup>g</sup>   | ۷/۰ <sup>cd</sup>  | ۷/۸ <sup>abc</sup> | ۱۵۰                                |
|                                    | ۴/۲C               | ۶/۸B               | ۸/۰A               | میانگین                            |

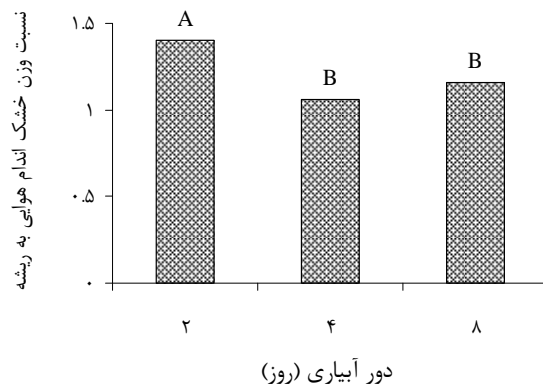
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.

به‌طوری که این نسبت در دور آبیاری ۴ و ۸ روزه به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با ریشه، بیشتر تحت تأثیر تنش آبی قرار گرفته و در نتیجه با افزایش دور آبیاری نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه کاهش یافته است. تغییرات نسبت ریشه به اندام هوایی واکنش‌های اولیه‌ای هستند که شروع‌کننده یک سری واکنش‌های ترمیمی برای سبک کردن اثرات تنش آبی و یکی از بهترین مکانیسم‌های سازشی در برابر خشکی می‌باشد (۳۰). کاهش سرعت توسعه برگ، پیش از کاهش فتوسنتز بروز می‌نماید؛ بنابراین، در گیاهان تحت تنش آبی، برگ‌ها به دلیل مصرف کمتر کربوهیدرات‌ها دارای غلظت بالایی از این ماده

و اثراتش روی روابط آبی نسبت داد (۱۸). وزن خشک ریشه نیز در سطوح مختلف فسفر با افزایش دور آبیاری نسبت به شاهد کاهش یافت. بورمن و همکاران (۱۹) طی مطالعه خود روی لوبیا گزارش نمودند که زیست توده کل گیاه با افزایش دور آبیاری در تمامی سطوح فسفر به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. آنها نتیجه گرفتند که وزن خشک کل در گیاهان حاوی مقادیر کافی فسفر، به‌شدت با رشد و عملکرد گیاه در ارتباط بوده و به تنش آبی، بسیار حساس می‌باشد.

#### ب) نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه

نتایج تجزیه آماری (جدول ۳) نشان می‌دهد که تنش آبی بر نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه تأثیر معنی‌داری داشت،



شکل ۱. تأثیر دور آبیاری بر نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه

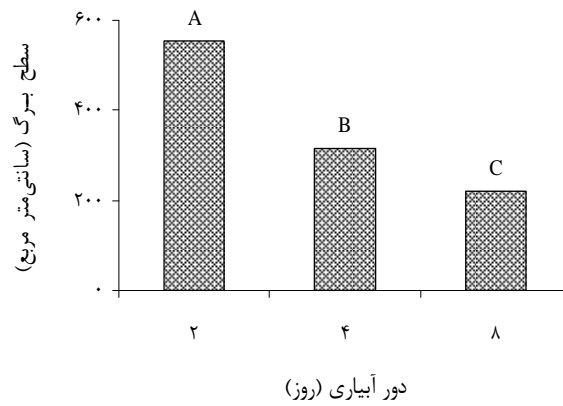
زایشی در نتیجه اعمال تنش رطوبتی می‌باشد (۱۱). نتایج مربوط به تأثیر دور آبیاری بر تعداد برگ (شکل ۳) نشان می‌دهد که این پارامتر نیز با افزایش دور آبیاری روندی کاهشی داشت، به طوری که تعداد برگ در دور آبیاری ۴ روزه، ۴۴ درصد و در دور آبیاری ۸ روزه، ۶۴ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. به نظر می‌رسد که کاهش تعداد برگ در هنگام مواجهه با تنش آبی مکانیسمی به منظور کاهش سطح تعرق گیاه می‌باشد. کمبود آب موجب کاهش تورگر سلولی و افزایش سنتز آبسزیک اسید (ABA) می‌شود، در نتیجه میزان تقسیم و توسعه سلولی کاهش یافته و کاهش تعداد برگ و رشد گیاه را در پی دارد (۴۹). آرنٹ (۱۳) بیان می‌کند که تحت شرایط کمبود آب، به علت افزایش حرکت مجدد کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها و پخش مجدد آنها به ریشه و ساقه و به دنبال آن عدم جذب آب توسط برگ، برگ‌های بالغ پژمرده می‌شوند. به دنبال این پژمردگی و پیر شدن برگ‌ها و ریزش آنها، تعداد برگ کاهش می‌یابد.

نتایج ارائه شده (شکل ۴) نشان می‌دهد که با افزایش دور آبیاری ارتفاع ساقه نیز به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد، به گونه‌ای که ارتفاع ساقه در دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روزه به ترتیب ۱۳ و ۱۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش ارتفاع و تعداد شاخه‌های فرعی گیاه تحت کمبود شدید آب ممکن است به دلیل کاهش فشار سلولی باشد که تقسیم و

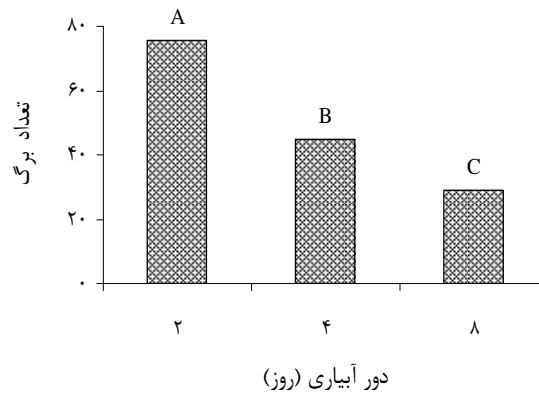
می‌شوند و در نتیجه مقدار کربن قابل دسترس برای ریشه‌ها در این شرایط افزایش می‌یابد. مهیا بودن کربن برای سلول‌های ریشه، رشد ریشه را متأثر خواهد نمود و در نتیجه حجم ریشه‌ها برای جذب بیشتر آب افزایش خواهند یافت (۲۰). همان‌طور که نتایج آماری (جدول ۳) نشان می‌دهد، کاربرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه نداشت. هم‌چنین تأثیر برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری روی این نسبت نیز معنی‌دار نشد.

### ج) سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع ساقه

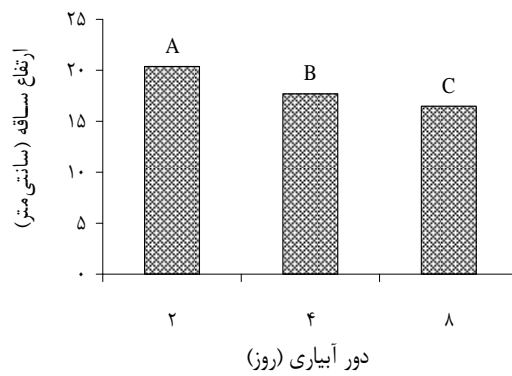
نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای فسفر و تنش آبی بر سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع ساقه، بیانگر معنی‌دار شدن اثرات تنش آبی روی این پارامترها می‌باشد (جدول ۳). نتایج مربوط به تأثیر دور آبیاری بر سطح برگ (شکل ۲) حاکی از آن است که با افزایش دور آبیاری سطح برگ با کاهش معنی‌داری روبه‌رو بود، به گونه‌ای که میزان کاهش این پارامتر نسبت به شاهد در دور آبیاری ۴ و ۸ روزه به ترتیب ۴۶ و ۶۲ درصد بود. اکثر مطالعات فیزیولوژیکی به کاهش سطح برگ گیاه به واسطه‌ی تنش آبی اشاره نموده‌اند که دلیل این عکس‌العمل، غالباً کاهش میزان و سرعت گسترش برگ‌ها به علت اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی و به ویژه زردی زودرس برگ‌ها و ریزش آنها در زمان شروع رشد



شکل ۲. تأثیر دور آبیاری بر سطح برگ



شکل ۳. تأثیر دور آبیاری بر تعداد برگ



شکل ۴. تأثیر دور آبیاری بر ارتفاع ساقه

فتوستتزی به منظور ارائه به بخش‌های در حال رشد و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد. کاهش سطح و تعداد برگ و ارتفاع ساقه در پسته توسط

توسعه سلولی را تحت تأثیر قرار داده است (۳۱). نادری و همکاران (۱۲) بیان کردند که کاهش ارتفاع گیاه به دنبال تنش آبی را می‌توان به اختلال در فتوستتزی و کاهش تولید مواد



رشد و عملکرد گیاه را به دنبال دارد (۳۶). کاهش شدت تعرق در واحد سطح برگ و کاهش فتوسنتز با افزایش دور آبیاری در پسته توسط محققان مختلف (۴۰ و ۴۸) نیز گزارش شده است. نتایج تجزیه آماری (جدول ۵) نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار کاربرد فسفر و هم‌چنین برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری روی خصوصیات فتوسنتزی است.

#### ه) غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف فسفر و دور آبیاری و هم‌چنین اثرات متقابل آنها، بر غلظت فسفر و روی اندام هوایی و ریشه در جدول ۶ ارائه شده است.

نتایج مربوط به تأثیر دور آبیاری بر غلظت فسفر (شکل ۸) بیانگر کاهش معنی‌دار غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه با افزایش دور آبیاری می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه در دور آبیاری ۴ روزه به ترتیب ۴۹ و ۱۶ درصد و در دور آبیاری ۸ روزه به ترتیب ۸۷ و ۳۳ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد غلظت فسفر در اندام هوایی بیشتر از ریشه تحت تأثیر افزایش دور آبیاری قرار گرفته است. کمبود فسفر یکی از اولین اثرات تنش آبی در گیاه می‌باشد. قابلیت دسترسی کم فسفر در خاکی که تحت تنش آبی است می‌تواند به دلیل کاهش پخشیدگی فسفر و جذب ضعیف آن توسط ریشه باشد (۲۱). برگمن (۱۶) بیان کرد که طی تنش آبی میزان جذب فسفر توسط گیاه کاهش می‌یابد؛ که کمبود فسفر تحت این شرایط در اندام هوایی بارزتر است. نتایج تحقیق حاج‌میرزایی (۲) روی بنبه و بابو و پراکاش (۱۴) روی انگور نیز کاهش غلظت فسفر گیاه را در اثر اعمال تنش آبی تأیید می‌کند.

نتایج به‌دست آمده (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه با کاربرد فسفر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به‌گونه‌ای که کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک باعث افزایش غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه به ترتیب به میزان ۶۱ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد گردید.

سپاسخواه و مفتون (۴۰) و تاج‌آبادی‌پور و همکاران (۴۸) نیز گزارش شده است.

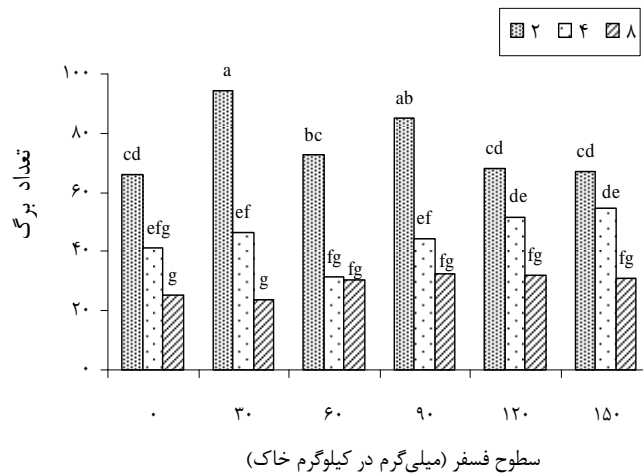
برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری بر سطح برگ و ارتفاع ساقه تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در حالی که نتایج مربوط به این برهم‌کنش بر تعداد برگ (شکل ۵) نشان می‌دهد که در تمامی سطوح فسفر، افزایش دور آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار تعداد برگ گیاه گردید. کاربرد فسفر در شرایط تنش (دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روزه) تغییر معنی‌داری در تعداد برگ نسبت به شاهد ایجاد نکرد. در حالی که با کاربرد فسفر در شرایط بدون تنش (دور آبیاری ۲ روزه) تعداد برگ نسبت به شاهد افزایش یافت.

#### د) شدت تعرق و فتوسنتز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که دور آبیاری، شدت تعرق و فتوسنتز را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد؛ در حالی که سطوح مختلف فسفر و اثرات متقابل فسفر و تنش آبی بر روی این پارامترها تأثیر معنی‌داری نداشت.

نتایج مربوط به تأثیر دور آبیاری بر شدت تعرق در شکل ۶ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این پارامتر با افزایش دور آبیاری روندی کاهشی داشت. به‌طوری که افزایش دور آبیاری به ۸ روز موجب کاهش معنی‌دار آن به میزان ۶۴ درصد نسبت به شاهد گردید. روند تغییرات میزان فتوسنتز نیز تحت تنش آبی در شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش دور آبیاری میزان فتوسنتز نسبت به شاهد کاهش یافت. به‌گونه‌ای که دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روزه موجب کاهش ۷ درصدی میزان این پارامتر نسبت به شاهد گردیدند.

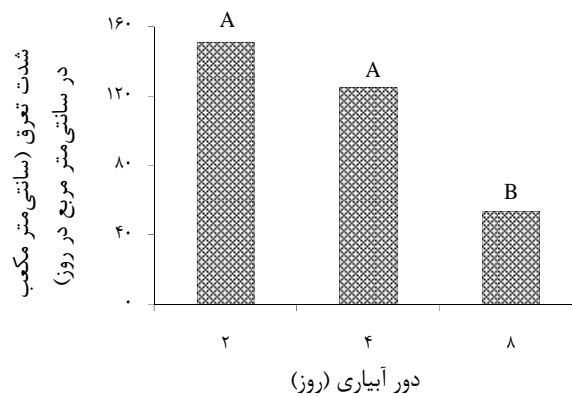
اعمال تنش آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای و متعاقباً کاهش تعرق و فتوسنتز می‌گردد. بسته شدن روزنه‌ها ممکن است در پاسخ به آماس پایین سلول محافظ در اثر افزایش شیب فشار بخار آب بین هوا و برگ و افزایش هورمون ABA باشد. با کاهش تعرق، جذب و انتقال آب از طریق ریشه‌های گیاه کاهش می‌یابد و در نتیجه کاهش



شکل ۵. برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری بر تعداد برگ

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثرات مختلف تنش آبی و فسفر بر شدت تعرق و فتوسنتز نهال‌های پسته

| میانگین مربعات    |            |                        |                      |
|-------------------|------------|------------------------|----------------------|
| منبع تغییرات      | درجه آزادی | شدت تعرق               | فتوسنتز              |
| فسفر              | ۵          | ۱۱۸۲/۹ <sup>ns</sup>   | ۳۱۹۲/۶ <sup>ns</sup> |
| دور آبیاری        | ۲          | ۴۵۸۴۰/۰ <sup>***</sup> | ۹۳۲۳/۴ <sup>*</sup>  |
| فسفر × دور آبیاری | ۱۰         | ۱۸۷۸/۴ <sup>ns</sup>   | ۹۹۴/۷ <sup>ns</sup>  |
| خطا               | ۳۶         | ۲۱۳۶/۵                 | ۲۳۳۵/۹               |



شکل ۶. تأثیر دور آبیاری بر شدت تعرق

هوایی می‌باشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که تمایل فسفر به تجمع در ریشه بیش از اندام هوایی است. می‌توان بیان نمود که افزایش جذب فسفر با مصرف کود فسفره ممکن است

همان‌طور که ملاحظه می‌شود غلظت فسفر اندام هوایی نسبت به ریشه با کاربرد فسفر افزایش بیشتری داشته است. هم‌چنین قابل ذکر است که میانگین غلظت فسفر ریشه بیشتر از اندام

است. کاهش غلظت روی با افزایش سطح تنش را هم‌چنین می‌توان به کاهش رشد ریشه و کاهش جذب عناصر توسط آن نسبت داد. فوت (۲۲) بیان کرد که تنش آبی میزان جذب روی را کاهش داده و متعاقباً رشد بخش‌های هوایی گیاه و فتوسنتز را محدود می‌سازد.

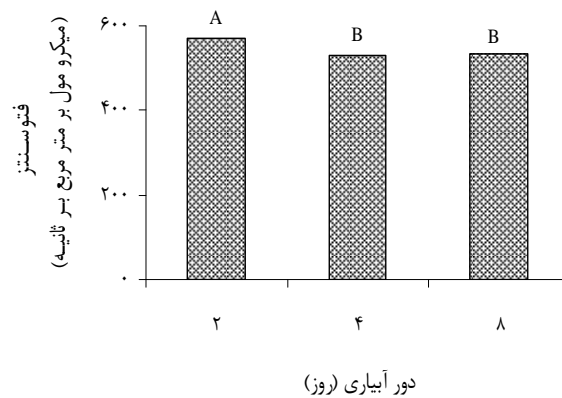
همان‌طور که نتایج جدول فوق نشان می‌دهد، کاربرد سطوح مختلف فسفر بر غلظت روی اندام هوایی و ریشه اثر کاهشی داشت. به‌طوری که غلظت روی اندام هوایی و ریشه با کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به ترتیب ۳۱ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. رابطه‌ی فسفر و روی، یک رابطه آنتاگونیسمی است. موجودی زیاد فسفر خاک باعث کاهش رشد ریشه گیاه و حجم میکوریز آن شده، که کاهش جذب روی توسط گیاه را به دنبال خواهد داشت. در داخل گیاه هم وجود غلظت‌های بالای فسفر باعث کاهش حلالیت روی و کاهش انتقال آن از ریشه به سایر قسمت‌های گیاه می‌شود (۴۶). برهم‌کنش روی-فسفر در خاک ممکن است به‌علت اختلال در انتقال از خاک به سطح ریشه، افزایش جذب سطحی روی در خاک‌های حاوی اکسیدهای آهن و آلومینیم و کاهش پخشیدگی این عناصر به سمت ریشه نیز باشد. روی این قابلیت را دارد که احتمالاً با انجام وظایفی در غشای سلولی، آهنگ جذب فسفر به‌وسیله‌ی ریشه را کنترل کند. در رابطه با دلیل برهم‌کنش منفی بین روی و فسفر مکانیسم‌های اثر رقت در توزیع روی بین ریشه و اندام هوایی، اثرات فیزیولوژیکی و کاهش رشد میکوریزا بر اثر مصرف زیاد فسفر نیز عنوان شده است (۳۹). کاهش میانگین غلظت روی برگ، ساقه و ریشه پسته با مصرف فسفر توسط اردلان و ثواقبی (۱) و قرنجیگ (۱۰) نیز گزارش شده است. روند تغییرات غلظت روی اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری (جدول ۷) نشان می‌دهد که این برهم‌کنش تنها بر غلظت روی ریشه تأثیر معنی‌داری داشت. کاربرد فسفر در هر ۳ دور آبیاری غلظت روی ریشه را نسبت به شاهد کاهش داد؛ هر چند در شرایط تنش این کاهش غلظت تفاوت معنی‌داری با شاهد

ناشی از افزایش غلظت فسفر در محیط یا افزایش و توسعه‌ی ریشه یا احتمالاً ناشی از هر دو عامل باشد.

اردلان و ثواقبی (۱) ضمن تحقیقی بر روی پسته بیان داشتند که غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه با مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به ترتیب ۴۶ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. نتایج مطالعه شهریاری‌پور (۷) نیز نشان داد که کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک موجب افزایش غلظت فسفر اندام‌ها شد. نتایج تجزیه آماری (جدول ۶) نشان می‌دهد که برهم‌کنش فسفر و دور آبیاری تنها بر غلظت فسفر اندام هوایی تأثیر معنی‌داری داشت و غلظت فسفر ریشه تحت تأثیر این برهم‌کنش قرار نگرفت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود (شکل ۱۰) غلظت فسفر اندام هوایی در تمامی سطوح فسفر با افزایش دور آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد فسفر تحت شرایط بدون تنش موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر اندام هوایی نسبت به شاهد گردید. در حالی که کاربرد فسفر در شرایط تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر این بخش نداشت. به‌عبارت دیگر، کاربرد فسفر توانست مانع کاهش غلظت فسفر با افزایش تنش آبی گردد. نتایج مطالعه هی و همکاران (۲۶) روی گندم نیز نشان داد که با افزایش کاربرد فسفر و میزان رطوبت خاک جذب فسفر توسط گیاه افزایش یافت.

#### و) غلظت روی اندام هوایی و ریشه

نتایج مربوط به تأثیر دور آبیاری و فسفر بر غلظت روی اندام هوایی و ریشه در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج موجود بیانگر کاهش معنی‌دار غلظت روی این اندام‌ها با افزایش دور آبیاری می‌باشد. بدین صورت که با افزایش دور آبیاری به ۴ و ۸ روز، غلظت روی اندام هوایی به ترتیب ۲۱ و ۳۴ درصد و غلظت روی ریشه به ترتیب ۲۷ و ۲۶ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. به‌نظر می‌رسد که خشکی با محدود کردن سرعت تعرق و مکانیسم‌های انتقال، موجب کاهش جذب روی توسط ریشه و محدود شدن انتقال آن از ریشه به اندام هوایی شده



شکل ۷. تأثیر دور آبیاری بر فتوستنتر

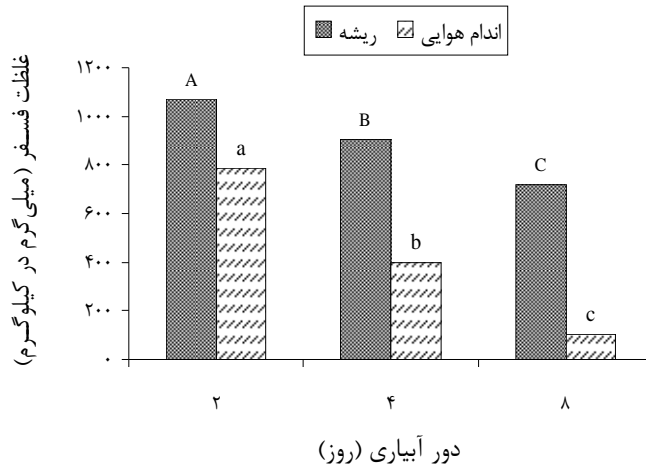
جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس آثار مختلف تنش آبی و فسفر بر غلظت عناصر فسفر و روی نهال‌های پسته

| میانگین مربعات |                      |                    |                       |                       | درجه آزادی        | منبع تغییرات |
|----------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| غلظت روی ریشه  | غلظت روی اندام هوایی | غلظت فسفر ریشه     | غلظت فسفر اندام هوایی | غلظت فسفر اندام هوایی |                   |              |
| ۱۷۰/۷*         | ۳۳/۳**               | ۰/۰۸*              | ۰/۰۵**                | ۵                     | فسفر              |              |
| ۴۲۰/۴**        | ۶۵/۸***              | ۰/۵***             | ۲/۱***                | ۲                     | دور آبیاری        |              |
| ۳۸۰/۶***       | ۱۰/۲ <sup>ns</sup>   | ۰/۰۲ <sup>ns</sup> | ۰/۰۴**                | ۱۰                    | فسفر × دور آبیاری |              |
| ۵۶/۳           | ۷/۰                  | ۰/۰۳               | ۰/۰۱                  | ۳۶                    | خطا               |              |

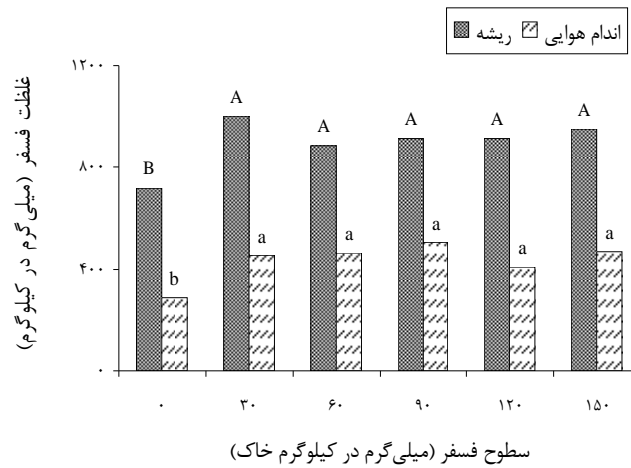
جدول ۷. تأثیر فسفر و دور آبیاری بر غلظت روی اندام هوایی و ریشه نهال‌های پسته (میلی گرم در کیلوگرم)

| میانگین | رژیم آبیاری (روز)   |                     |                     | سطوح فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|
|         | ۸                   | ۴                   | ۲                   |                                 |
|         | اندام هوایی         |                     |                     |                                 |
| ۱۲/۳A   | ۷/۸                 | ۱۴/۸                | ۱۴/۴                | ۰                               |
| ۷/۵BC   | ۵/۲                 | ۸/۴                 | ۸/۸                 | ۳۰                              |
| ۷/۲C    | ۷/۶                 | ۶/۴                 | ۷/۵                 | ۶۰                              |
| ۹/۳BC   | ۸/۳                 | ۷/۲                 | ۱۲/۳                | ۹۰                              |
| ۸/۲BC   | ۶/۵                 | ۷/۷                 | ۱۰/۳                | ۱۲۰                             |
| ۸/۵ BC  | ۸/۵                 | ۸/۱                 | ۱۳/۴                | ۱۵۰                             |
|         | ۷/۳B                | ۸/۷B                | ۱۱/۱A               | میانگین                         |
|         | ریشه                |                     |                     |                                 |
| ۳۰/۳A   | ۲۶/۳ <sup>b-f</sup> | ۱۹/۷ <sup>def</sup> | ۴۵/۱ <sup>a</sup>   | ۰                               |
| ۲۸/۴ A  | ۱۶/۱ <sup>f</sup>   | ۱۶/۳ <sup>ef</sup>  | ۲۳/۳ <sup>c-f</sup> | ۳۰                              |
| ۲۸/۵A   | ۱۴/۱ <sup>f</sup>   | ۱۵/۵ <sup>ef</sup>  | ۳۸/۹ <sup>ab</sup>  | ۶۰                              |
| ۲۸/۵A   | ۱۲/۵ <sup>f</sup>   | ۱۶/۰ <sup>ef</sup>  | ۲۱/۳ <sup>def</sup> | ۹۰                              |
| ۲۱/۷B   | ۱۳/۷ <sup>f</sup>   | ۱۶/۷ <sup>ef</sup>  | ۳۸/۸ <sup>ab</sup>  | ۱۲۰                             |
| ۲۰/۶B   | ۱۵/۲ <sup>f</sup>   | ۱۶/۴ <sup>ef</sup>  | ۲۱/۳ <sup>def</sup> | ۱۵۰                             |
|         | ۲۳/۱B               | ۲۳/۰B               | ۳۱/۴A               | میانگین                         |

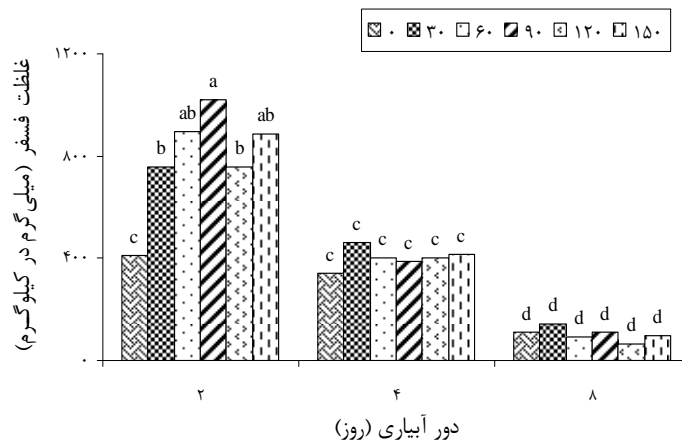
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۸. تأثیر دور آبیاری بر غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه



شکل ۹. تأثیر سطوح مختلف فسفر بر غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه



شکل ۱۰. تأثیر سطوح مختلف فسفر و دور آبیاری بر غلظت فسفر اندام هوایی

اوکالیپتوس کشت یافته در دو خاک شنی و رسی بیان کردند که مقاومت به خشکی توسط کوددهی تغییر می‌یابد؛ اما اثر کوددهی به خصوصیات خاک بستگی دارد. در خاک شنی، کوددهی با کاهش اختصاص کربن به ریشه‌ها و مختل نمودن تنظیم اسمزی، کاهش رشد بیشتری را تحت شرایط تنش موجب شده است اما در خاک رسی، کوددهی رشد را بهبود بخشیده است. بنابراین کوددهی فسفر، در خاک‌های رسی تحت شرایط تنش آبی و در خاک‌های شنی تنها در شرایط مطلوب دسترسی آب پیشنهاد می‌گردد. در نتیجه در تحقیق انجام شده، عدم پاسخ مناسب نهال‌های پسته را به کاربرد فسفر می‌توان به دلیل شنی بودن بافت خاک نیز دانست. از سوی دیگر می‌توان بیان نمود که افزایش کاربرد عناصر غذایی (از جمله فسفر)، در شرایطی که عناصر غذایی به میزان کافی در خاک وجود دارند و یا تحت شرایط تنش آبی شدید، تأثیری در بهبود رشد گیاه نخواهد داشت. با توجه به نتایج تحقیق فوق پیشنهاد می‌شود، این آزمایش روی سایر رقم‌های پسته در گلخانه و در شرایط باغی انجام شود و تأثیر دیگر منابع کودی فسفره به‌ویژه منوکلسیم فسفات مورد مطالعه قرار گیرد.

نداشت. رفیعی و همکاران (۵) گزارش کردند که فسفر در فرآیند جذب، با سایر عناصر (به‌ویژه روی و آهن) رقابت دارد و غلظت و کل جذب عناصر کم‌مصرف در گیاه را کاهش می‌دهد، که البته تنش آبی این اثر را تشدید می‌کند.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، تأثیر سوء تنش آبی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن اندام هوایی به ریشه، ارتفاع ساقه، سطح و تعداد برگ، شدت تعرق و فتوستتوز و غلظت عناصر فسفر و روی نهال‌های پسته (رقم بادامی زرنند) مورد تأیید قرار گرفت. در این مطالعه کاربرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای رشدی و خصوصیات فتوستتوزی نداشت. چنین به نظر می‌رسد که فسفر عصاره‌گیری شده‌ی خاک (۵/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) برای رشد بهینه‌ی نهال‌های پسته در این آزمایش کافی بوده است. روند تغییرات میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده با کاربرد فسفر در شرایط تنش نشان داد که کاربرد فسفر تحت این شرایط تأثیر معنی‌داری بر روی این خصوصیات نداشت. گرسیانو و همکاران (۲۴) با کاربرد کودهای فسفره در شرایط تنش آبی روی گیاه

## منابع مورد استفاده

۱. اردلان، م. و غ. ثوابی. ۱۳۸۱. اثرات مصرف فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی نهال پسته. مجله پژوهش در علوم کشاورزی. ۲۳: ۲۹-۲۳.
۲. حاج‌میرزایی، ا. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی روی برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی بنه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.
۳. خوش‌گفتارمنش، ا. ح. و ح. سیادت. ۱۳۸۱. تغذیه معدنی سبزیجات و محصولات باغی در شرایط شور. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور باغبانی.
۴. دفتر آمار و فن‌آوری اطلاعات. ۱۳۸۶. آمارنامه کشاورزی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
۵. رفیعی، م. ح. ا. نادیان، ق. نورمحمدی و م. کریمی. ۱۳۸۳. اثرات تنش خشکی و مقادیر روی و فسفر بر غلظت و کل جذب عناصر در ذرت. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۵: ۲۳۵-۲۴۳.
۶. سرمندیا، غ. ح. و ع. کوچکی. ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
۷. شهریاری‌پور، ر. ۱۳۸۶. تأثیر شوری، فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه پسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی،

- دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان.
۸. طالبی، م. و. مظفری و ا. تاج آبادی پور. ۱۳۸۹. پاسخ دانه‌های پسته رقم قزوینی به سطوح مختلف روی و کلرید سدیم. مجله علوم خاک و آب ۲۳:۱۴۹-۱۶۱.
۹. عسیسی، م. ۱۳۸۵. تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی بر مراحل رشد رویشی و زایشی گلرنگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۰. قرنجیگ، ل. ۱۳۸۷. اثر تفاله پسته، فسفر و شوری بر رشد و ترکیب شیمیایی نهال پسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان.
۱۱. مظفری، ک.، ی. عرشی و ح. زینالی خانقاه. ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش خشکی در برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان، مجله نهال و بذر. ۱۲:۲۴-۳۳.
۱۲. نادری، م. ر.، ق. نورمحمدی، ا. مجیدی، ف. درویش، ا. ح. شیرانی‌راد و ح. مدن. ۱۳۸۴. بررسی عکس‌العمل گلرنگ تابستانه به شدت‌های مختلف تنش خشکی در منطقه اصفهان، مجله علوم زراعی ایران. ۷:۲۱۲-۲۲۵.
13. Arndt, A. K., S. Clifford, W. Wanek, H. G. Jones and M. Popp. 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in responses to progressive drought. *Tree Physiol.* 21:1-11.
14. Babu, H. K. N. and G. S. Prakash. 2003. Effect of water stress and rootstocks on leaf mineral composition of grape. *Ind. J. Hort.* 60: 147-150.
15. Bai, L. P., F. G. Sui, T. D. Ge, Z. H. Sun, Y. Y. Lu and G. S. Zhou. 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. *Soil Sci. Soc. China* 16:326-332.
16. Bergmann, W. 1992. Color Atlas. *In: Gustav-Fischer (Ed.), Nutritional Disorders of Plants, Phosphorus.* Stuttgart, Germany.
17. Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Argon. J.* 43:434-438.
18. Bruck, H., W. A. Payne and B. Sattelmacher. 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpirational water-use efficiency, and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Sci.* 40:120-125.
19. Burman, U., B. K. Garg and S. Kathju. 2009. Effect of phosphorus application on clusterbean under different intensities of water stress *J. Plant Nutr.* 32:668-680.
20. Debaeke, P. and A. Aboudrare. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *Eur. Agro. J.* 21:433-466.
21. Dunham, R. J. and P. H. Nye. 1976. The influence of soil water content on the uptake of ions by roots. III. Phosphate, potassium, calcium and magnesium uptake and concentration gradients in soil. *J. Appl. Ecol.* 13: 967-984.
22. Foot, R. L. 2001. Comparative responses of field grown crops to phosphate concentrations in soil solutions. PP:81-106. *In: Mussell, H. and R. C. Stapley (Eds.), Stress Physiology in Crop Plants.* John Wiley Pub., New York.
23. Gijon, M. C., J. Guerrero, J. F. Couceiro and A. Moriana. 2009. Deficit irrigation without reducing yield or nut splitting in pistachio (*Pistacia vera* cv Kerman on *Pistacia terebinthus* L.). *J. Agric. Manage.* 96:12-22.
24. Graciano, C., J. J. Guiamet and J. F. Goya. 2005. Impact of nitrogen and phosphorous fertilization on drought responses in *Eucalyptus grandis* seedlings. *Forest Ecol Manage.* 212:40-49.
25. Graham, R. D. and M. J. Webb. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plant. PP. 329-370. *In: Welch, R. M. (Ed.), Micronutrients in Agriculture.* Soil Sci. Soc. America, Madison, Wis.
26. He, Y. Q., Y. G. Zhu, S. E. Smith and F. A. Smith. 2002. Interactions between soil moisture content and phosphorus supply in spring wheat plants grown in pot culture. *J. Plant Nutr.* 25:913-925.
27. Hooker, M. L., G. A. Peterson, D. Sander and L. A. Hand Daigger. 1980. Phosphate fractions in calcareous soil as altered by time and amounts of added phosphate. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44:269-277.
28. Hu, Y. and U. Schemidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:541-549.
29. Knudson, D., G. A. Peterson and P. L. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-246. *In: A. L. Page et al. (Eds.), Methodes of Soil Analysis. Part 2, 2<sup>nd</sup> ed., Amer. Soc. Agron., Madison, WI.*
30. Li, C. and K. Wang. 2003. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell populations. *Forest Ecol. Manage.* 179:377-385.

31. Manivanann, P., C. Abdul Jaleel, B. Sanker, A. Kishorekumar, R. Somasundaram, G. M. A. Lakshmanan and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 59:141-149.
32. McDonald, A. J. S. and W. J. Davie. 1996. Keeping in touch responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. *Adv. Bot. Res.* 22:229-300.
33. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. D. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939, U. S. Govern. prin. Office, Washington, DC, USA.
34. Passioura, J. B. 2007. The drought environment physical, biological and agricultural perspectives. *J. Exp. Bot.* 58:113-117.
35. Premachandra, G. S., H. Saneoka, K. Fujita and S. Ogata. 1990. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by phosphorus nutrition of water-stressed maize. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:661-666.
36. Ramachandra, R. A., K. V. Choityana and A. Ivekanadan. 2004. Drought-induced response to photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 161:1189-1202.
37. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. D. A. Handbook No. 60, Washington, DC, USA.
38. Saadatmand, A. R., Z. Banihashemi, M. Maftoun and A. R. Sepaskhah. 2007. Interactive effect of soil salinity and water stress on growth and chemical composition of pistachio nut tree. *J. Plant Nutr.* 30:2037-2050.
39. Safaya, N. M. 1976. Phosphorous-zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorous, zinc, copper, manganese and iron in corn. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40:719-722.
40. Sepaskhah, A. R. and M. Maftoun. 1981. Growth and chemical composition of pistachio cultivars as influenced by irrigation regimes and salinity levels of irrigation water. I. Growth. *J. Hort. Sci.* 56:277-284.
41. Shao, H. B., L. Y. Chu, C. Abdul Jaleel and C. X. Zhao. 2008. Water deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biol.* 331:215-225.
42. Singh, S. P., K. Bargalif, A. Joshi and S. Chaudhry. 2005. Nitrogen resorption in leaves of tree and shrub seedling in response to increasing soil fertility. *Curr. Sci.* 89:389-396.
43. Smith, F. W. 2002. The phosphate uptake mechanism. *Plant Soil* 245:105-114.
44. Snowdon, P. 2000. Nutritional disorders and other abiotic stresses of Eucalyptus. P. 576. *In: Keanas, P. J., G. A. Kile, F. D. Podger and B. N. Brown. (Eds.), Diseases and Pathogens of Eucalyptus. CSIRO Pub.*
45. Snyman, H. A. 2002. Short-term response of rangeland botanical composition and productivity to fertilization (N and P) in a semi-arid climate of South Africa. *J. Arid Environ.* 50:167-183.
46. Sumner, R. E. and M. P. W. Farina. 1986. Phosphorous interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. PP. 201-236. *In: B. A. Stewart (Ed.), Advances in Soil Science. Springer-Verlag Pub., New York.*
47. Sykes, T. J. 1975. The influence of climate on the regional distribution of nut crops in Turkey. *Economic Bot.* 29:108-115.
48. Tajabadi Pour, A., A. R. Sepaskhah and M. Maftoun. 2005. Plant water relations and seedlings growth of three pistachio cultivars as influenced by irrigation frequency and applied potassium. *J. Plant Nutr.* 28:1413-1425.
49. Tezara, W., V. Mitchell, S. P. Dviscoll and D. W. Lawlor. 2002. Effect of water deficit and its interaction with CO<sub>2</sub> supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. *J. Exp. Bot.* 53:1781-1791.
50. Viets, F. G. 1972. Water deficit and nutrients availability. PP. 217-239. *In: T. T. Kozlowski (Ed.), Water Deficit and Plant Growth. Vol. III, Academic Press, New York.*
51. Walkey, A. and T. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.