Research Article

Effect of soil phosphorus on vegetative, photosynthetic, water related and nutritional traits of brant's oak seedlings under different water conditions

Leila Ranjbar[1], Payam Fayyaz[1*], Ebrahim Adhami[2], Hamidreza Owliaei[2], Roghayeh Zolfaghari[1]

Extended Abstract

Background and objectives: The acceleration in the intensity and duration of droughts in Zagros forests has affected the recovery of native tree species, including the Brant oak (*Quercus brantii* L.). Despite the importance of phosphorus in increasing drought resistance in different species, there is little information on the role of this element in Brant's oak seedlings with respect to drought.

Materials and methods: For this purpose, the main and interaction effects of two factors, soil phosphorus (at five concentrations of zero, 25, 50, 75 and 100 mg/kg) and soil moisture (at three levels of 60, 30 and 10 percent of field capacity), on the performance traits of one-year-old Brant's oak seedlings were investigated. The traits studied include morphological, physiological and nutritional parameters.

Results: The results showed that as soil water content decreased, the traits of leaf number, root and leaf fresh weight, relative water content, photosystem II performance, leaf chlorophyll index, and leaf potassium and phosphorus content decreased, while root length and electrolyte leakage rate increased. The increase in soil phosphorus in the heavily irrigated seedlings (60 percent of field capacity) led to the development of aboveground organs and leaf area. In the seedlings that were in a water deficit, this maintained the maximum performance of photosystem II. An increase in soil phosphorus under all water conditions increased the phosphorus and potassium content as well as the chlorophyll index in the leaves of Brant's oak. However, this had no effect on oxidative stress-induced damage to the reducing membrane.

Conclusion: The addition of phosphorus increased the resistance of Brant's oak seedlings to drought stress by improving their nutritional status and protecting the photosynthetic apparatus. It was suggested to use higher phosphorus concentrations of phosphorus for future research to investigate the possibility of improving water relations and protection against plasma membrane damage.

Keywords: Nutrient element absorption, Phosphorous fertilizer, Plasma membrane injury, Physiological performance, Water deficit stress.

[1]Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasuj, Iran.

[2]Department of soil science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasuj, Iran.

*Corresponding Author, Email: pfayyaz@yu.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer.4.1.41
ISSN: 2423-4095

Received: 31.10.2024; Accepted: 26.12.2024

Online Published: 12.03.2025

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

مقاله پژوهشی

اثر فسفر خاک بر صفات رویشی، فتوسنتزی، آبی و تغذیه‌ای نهال‌های برودار در شرایط آبی مختلف

لیلا رنجبر[۱]، پیام فیاض[۱*]، ابراهیم ادهمی[۲]، حمیدرضا اولیایی[۲]، رقیه ذوالفقاری[۱]

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: افزایش شدت و مدت دوره‌های خشکسالی در جنگل‌های زاگرس ایران، توسعه گونه‌های بومی از جمله برودار (بلوط ایرانی) را با مشکل مواجه کرده است. با وجود آگاهی از اهمیت فسفر در افزایش مقاومت به خشکی گیاهان، اطلاعات کمی از نقش این عنصر در نهال‌های این گونه درختی جنگلی در مواجهه با خشکی وجود دارد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور در یک آزمایش، اثرات ساده و متقابل عامل فسفر خاک (در پنج سطح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) و رژیم رطوبتی خاک (در سطوح ۶۰، ۳۰ و ۱۰ درصد ظرفیت زراعی) بر صفات عملکردی نهال‌های یک‌ساله برودار، مورد بررسی قرار گرفت. صفات مورد بررسی شامل متغیرهای ریختاری، فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای نهال‌ها بود.

یافته‌ها: با کاهش محتوای آب خاک، صفات تعداد برگ، وزن تر ریشه و برگ، محتوای نسبی آب، عملکرد فتوسیستم II، شاخص کلروفیل برگ و محتوای پتاسیم و فسفر برگ کاهش، و طول ریشه و نرخ نشت الکترولیت افزایش یافت. افزایش فسفر خاک، در نهال‌هایی که در شرایط رطوبتی بهتری بودند (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب توسعه اندام‌های هوایی و سطح برگ گردید و در نهال‌هایی که در شرایط کمبود آب قرار داشتند موجب حفظ عملکرد بیشینه فتوسیستم II گردید. افزایش فسفر خاک در تمام شرایط آبی، تراکم فسفر، پتاسیم و شاخص کلروفیل را در برگ برودار افزایش داد، اما تأثیری در کاهش آسیب غشایی ناشی از تنش اکسیداتیو نداشت.

نتیجه‌گیری: به طور کلی استفاده از فسفر موجب افزایش مقاومت نهال‌های برودار به تنش خشکی از طریق بهبود روابط تغذیه‌ای و محافظت از دستگاه فتوسنتزی گردید. استفاده از غلظت‌های بالاتر فسفر برای تحقیقات آینده به منظور مطالعه امکان بهبود روابط آبی و حفاظت از آسیب غشای سیتوپلاسمی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آسیب غشای سیتوپلاسمی، تنش کم‌آبی، جذب عناصر غذایی، کود فسفر، عملکرد فیزیولوژیک.

[۱] گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

[۲] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: pfayyaz@yu.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer.4.1.41
*ISSN: 2423-4095

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶

تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

مقدمه

خشکی از مهمترین عوامل تنش‌زای غیر زیستی است که رشد و عملکرد فیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی را محدود می‌کند (Ansari *et al*., 2019). روند تغییرات اقلیمی نشان دهنده افزایش فراوانی و شدت خشکی در مقیاس جهانی است که توزیع و بقای گونه‌های جنگلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Trenberth *et al*., 2014). در جنگل‌های زاگرس پراکنش نامنظم بارندگی در طول سال، و فصل خشک طولانی در طی دوره رویش گیاهی، موجب محدودیت منابع آب در دسترس گونه‌های جنگلی به ویژه در مرحله نهالی که فاقد سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته هستند، می‌شود (Zolfaghari & Akbarinia, 2018). مطالعه نوسانات محتوای رطوبتی خاک در زاگرس جنوبی نشان می‌دهد که در مناطق دور از آبراهه‌ها، محتوای حجمی آب خاک در افق سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) در اواخر خرداد ماه به کمتر از ۱۰ درصد می‌رسد. که این پدیده (رسیدن محتوای رطوبتی خاک به زیر ۱۰ درصد) در عمق ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری خاک در اواخر مرداد ماه مشاهده می‌شود و پس از آن ثابت می‌ماند. این میزان از محتوای آب خاک زیر نقطه پژمردگی بوده و موجب بروز تنش کمبود آب بسیار شدید در گیاهان می‌گردد (Edraki *et al*., 2007). گونه برودار (*Quercus brantii* .Lindl)، از درختان بلوط خزان کننده و مقاوم به خشکی است که جوامع جنگلی وسیعی را در اقلیم‌های خشک مدیترانه‌ای شامل ایران (زاگرس)، ترکیه، عراق و سوریه تشکیل می‌دهد (Speranza *et al*., 2020). از جمله مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در نهال‌های برودار می‌توان به افزایش تجمع اسمولیت‌ها، افزایش تجمع پتاسیم و فسفر در اندام هوایی، بهبود تنظیمات روزنه‌ای و خزان برگ‌ها (Sisakhtnejad *et al*., 2016)، و افزایش تانن (Nazari *et al*., 2013) اشاره نمود. در پژوهشی Jafarnia و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثرات تنش خشکی بر ویژگی‌های رویشی، ریختاری، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های یکساله برودار نشان دادند که اعمال تنش خشکی تا ۲۰ درصد ظرفیت زراعی برای مدت سه ماه (اواسط خرداد تا اواسط شهریور) موجب کاهش رشد ساقه، کاهش عملکردهای فتوسنتزی و پتانسیل آبی ساقه، افزایش قندهای محلول و پرولین، افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش مالون دی آلدهید، نرخ نشت الکترولیت‌ها و گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد. در میان بسیاری از ویژگی‌های فیزیولوژیکی که توسط آن گیاه با کمبود آب مقابله می‌کند، نگهداری، جذب و انتقال کاتیون‌ها نقش مهمی در مقابله با تنش کمبود آب دارد و می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Fayyaz *et al*., 2013; Achakzai, 2011). کاهش رطوبت خاک، قابلیت دسترسی عناصر مغذی خاک از جمله پتاسیم و فسفر را کاهش داده و منجر به تغییر الگوی مهاجرت عناصر در بافت‌های گیاه می‌شود (Sardans & Peñuelas, 2007). بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که افزایش جذب فسفر در گیاهان تا حدودی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تنش‌های محیطی از جمله خشکی را کاهش داده و راندمان مصرف آب و در نتیجه مقاومت به تنش را در گیاهان افزایش می‌دهد (Jones *et al*., 2003). همچنین فسفر با افزایش حجم ریشه و تراکم آوندهای چوبی (Sing & Sale, 2000)، و نیز کاهش سطح برگ و نرخ برگ‌زایی (Gutiérrez-Boem & Thomas, 1998) در افزایش مقاومت گیاهان در مقابله با تنش کم¬آبی نقش دارد. در مطالعه‌ای، Tariq و همکاران (۲۰۱۷) اثرات خشکی و فسفر را در نهال‌های دوساله درخت فئوب طلایی (*Pheob zennan* از خانواده برگ بوئیان) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که صرف نظر از میزان فسفر خاک، گیاه فئوب طلایی از مکانیسم‌های سازگاری متنوعی نظیر کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش نرخ تبخیر و تعرق، افزایش کارآیی مصرف آب، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، و تجمع اسمولیت‌ها برای مقابله با تنش خشکی استفاده می‌کند. اما استفاده از کود فسفر در یک دوره سه ماهه (افزودن ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر به خاک به صورت ماهانه) از طریق بهبود زی‌توده ریشه، کاهش اکسیداسیون لیپیدها، و افزایش تراکم رنگدانه‌های فتوسنتزی، اسمولیت‌ها و ترکیبات آلی نیتروژنی موجب ارتقای سطح مقاومت نهال‌ها به تنش خشکی گردید. افزایش فسفر محلول خاک در حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفر نیز اثرات مثبتی در افزایش مقاومت به خشکی در نهال‌های برودار نشان

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

می‌دهد. به‌نحوی که در تحقیقات Zolfaghari و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده شد که نهال‌های دریافت کننده باکتری‌های حل کننده فسفر در شرایط تنش کمبود آب، در تمام اندام‌های برگ، ساقه و ریشه، محتوای آب بیشتر، نرخ نشت الکترولیت کمتر و وزن تر بیشتری نسبت به نهال‌های رشد یافته در شرایط کنترل داشتند. اگرچه اثر فسفر خاک در افزایش مقاومت به خشکی در مطالعات زیادی به اثبات رسیده است، اما اطلاعات کمی در مورد تأثیر سطوح مختلف فسفر خاک بر مقاومت به تنش خشکی در گونه برودار وجود دارد. با توجه به اهمیت تنش خشکی در استقرار نهال‌های برودار در زاگرس و اثرات مثبت فسفر در افزایش مقاومت به تنش خشکی در برخی گیاهان، در نظر است امکان افزایش تحمل نهال‌های برودار به تنش کمبود آب با افزایش فسفر خاک مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج اجرا شد. مراحل اجرایی پژوهش در شکل ۱ به صورت خلاصه آورده شده است. بذرهای مورد استفاده در این پژوهش در اواخر آبان ماه از درختان برودار منطقه باشت (استان کهگیلویه و بویراحمد) تهیه شدند و در انباری تاریک و خنک (بدون تجهیزات برودتی)، درون کیسه‌های نایلونی سیاه با هوادهی محدود تا زمان کاشت نگهداری شدند. برای بستر کاشت از خاک منطقه استفاده گردید (جدول ۱). خاک با سطوح متفاوتی از فسفر با منبع کلسیم دی هیدروژن فسفات (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) مخلوط شد. در اوایل بهمن‌ماه ۶۰ کیسه نشای نایلونی چهار لیتری با پنج نوع خاک تهیه شده، پر شدند (۱۲ گلدان برای هر سطح تیمار فسفر خاک) و سه بذر در هر گلدان در عمق سه سانتی‌متری کاشته شدند. گلدان‌ها تا اواخر خرداد ماه هر دو تا سه روز بسته به نیاز، آبیاری شدند. در اواخر خردادماه گلدان‌ها به سه گروه تقسیم شدند و رژیم‌های آبی مختلف با قطع آبیاری تا ظرفیت زراعی هدف (۶۰، ۳۰ و ۱۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شد. ظرفیت زراعی به روش وزنی کنترل شد و گلدان‌ها پس از ۵، ۷ و ۱۱ روز قطع آبیاری به ترتیب به ۶۰، ۳۰ و ۱۰ درصد ظرفیت زراعی رسیدند (چهار گلدان برای هر سطح از رژیم آبی در هر تیمار فسفر) و پس از آن تا ۱۵ تیرماه (زمان برداشت) در همان شرایط آبی نگهداری شدند (به این ترتیب نهال‌ها چهار ماه در سطوح متفاوت فسفر خاک رشد کردند و پس از آن به مدت ۲۰ روز در سطوح مختلفی از رطوبت خاک قرار گرفتند) (شکل ۱). صفات ریختاری و فیزیولوژیک مورد نظر شامل مساحت برگ، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، عملکرد بهینه و بیشینه فتوسیستم به همراه طول، وزن تر، محتوای نسبی آب، و هدایت الکتریکی در اندام‌های مختلف در روز پایانی (۱۵ تیر) اندازه‌گیری و ثبت شدند. غلظت فسفر در برگ به روش Olsen (۱۹۵۴) و غلظت پتاسیم در برگ به روش Knudsen و Peterson (۱۹۸۳) اندازه‌گیری شد. آزمایش به صورت فاکتوریل ۳×۵ در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با چهار تکرار در هر سطح تیمار اجرا و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پیش از انجام آنالیز واریانس، داده‌های بالقوه پرت با استفاده از باکس پلات بررسی شدند و نرمال بودن توزیع آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف بررسی گردید. با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها هیچ تبدیل داده‌ای صورت نگرفت. مقایسات میانگین چندگانه به روش دانکن و با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. تمام آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۱) انجام شد.

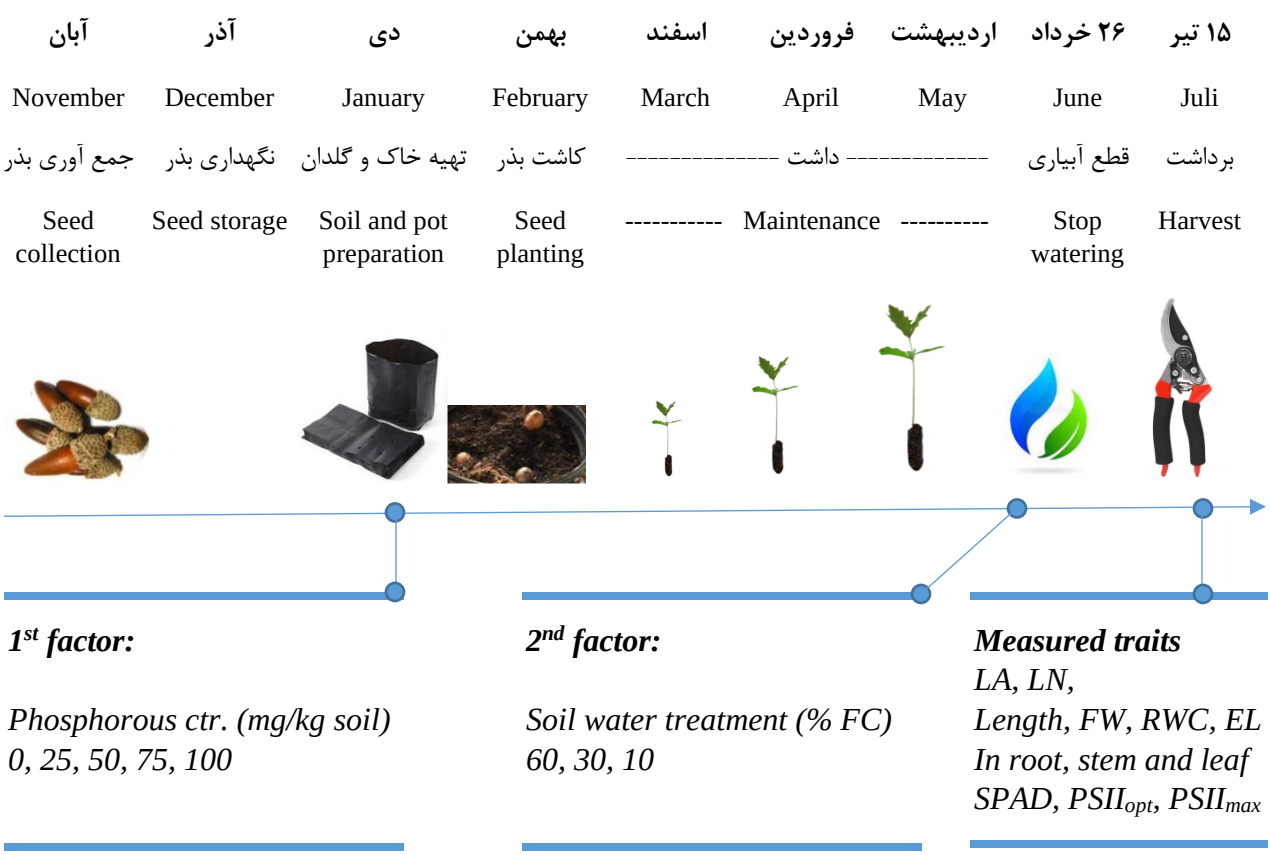
نتایج

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر صفات رویشی

بررسی ویژگی‌های رویشی اندام‌های مختلف نهال‌های برودار صرف نظر از نوع تیمار نشان داد که در پایان دوره آزمایش (۱۵ تیر ماه)، هر نهال برودار به طور میانگین دارای هشت برگ با مساحت چهار سانتی‌متر مربع، طول ساقه ۱۰ سانتی‌متر و طول ریشه ۵۵ سانتی‌متر بود. همچنین وزن تر کل ریشه، ساقه و برگ در نهال‌های مورد آزمایش به ترتیب به سه، یک، و پنج گرم در طی مدت آزمایش رسید. کاهش محتوای رطوبتی خاک موجب کاهش تعداد برگ (شکل ۲- الف)، طول ریشه (شکل ۲- ج) و وزن تر ریشه (شکل ۲- د)، ساقه (شکل ۲- و) و برگ (شکل ۲- هـ) گردید، اما تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه نداشت (جدول ۲).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]



شکل ۱- مراحل اجرای آزمایش تأثیر فسفر و رطوبت خاک بر صفات ریختاری و فیزیولوژیکی نهال‌های بلوط برودار

Figure 1- Steps of testing the effect of phosphorus and soil moisture on the morphological and physiological characteristics of brant's oak seedlings

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the soil used in the experiment

نیتروژن کل (٪)	پتاسیم تبادلی (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	اسیدیته	بافت	شن (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)
Total nitrogen (%)	Exchangeable potassium (ppm)	Available phosphorus (ppm)	Electrolyte conductivity (dSm^{-1})	pH	texture	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)
0.1	228	5.5	0.22	8.14	Loam	53	20	27

بررسی اثر متقابل محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر صفات رویشی نشان داد افزایش فسفر خاک به میزان متوسط (۲۵ تا ۷۵ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط آبی بالا (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب تحریک برگ‌زایی و افزایش سطح برگ شد و در شرایط کمبود آب چنین اثری مشاهده نشد (شکل ۲- الف و ب). نهال‌های رشدیافته در خاک غنی از فسفر ریشه‌های بلندتری داشتند و محدودیت رشد ریشه ناشی از کاهش محتوای آب خاک در نهال‌های رشد یافته در خاک غنی از

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

فسفر کمتر از نهال‌های رشد یافته در خاک‌های با محتوای فسفر کم بود (شکل ۲- ج)، اما افزایش فسفر خاک تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه، و همچنین وزن تر اندام‌های مختلف نداشت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح فسفر و رژیم رطوبتی بر صفات رویشی نهال‌های برودار

Table 2- Variance analysis of the effect of phosphorus levels and moisture regime on vegetative traits of brant's oak seedlings

SV	LN	LA	SL	RL	FW		
					Leaf	Stem	Root
P	5.88^{ns}	31374^{ns}	17.6^{ns}	707^{***}	0.111^{ns}	0.063^{ns}	0.659^{ns}
SWC	64.7^{***}	99027^{ns}	21.6^{ns}	732^{***}	1.83^{***}	0.560^{***}	17.3^{***}
P × SWC	6.45^{*}	37632^{*}	12.5^{ns}	23.3^{***}	0.090^{ns}	0.057^{ns}	2.250^{ns}
CVe%	40	32	33	31	46	52	43

*، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد آماری و عدم معنی‌داری با ns نشان داده شده است. میانگین مربعات برای منابع تغییر شامل فسفر (P)، محتوای آب خاک (SWC) و اثر متقابل آن‌ها نشان داده شده است. درجه آزادی فسفر، محتوای آب خاک و اثر متقابل آن‌ها به ترتیب ۲، ۴ و ، و درجه آزادی خطا ۴۶ است. صفات مورد مطالعه شامل تعداد برگ (LN)، مساحت برگ (LA)، طول ساقه (SL)، طول ریشه (RL) و وزن تر (FW) ریشه، ساقه و برگ است.

*, ** and *** indicate significance at the 5, 1, and 0.1 percent level, respectively, and non-significance is indicated by ns. Mean squares for sources of variation (SV) including phosphorus (P), soil water content (SWC) and their interaction have shown. The degree of freedom of phosphorus, soil water content and their interaction effect are 2, 4 and 8, respectively, and the degree of freedom of error is 46. The studied traits include number of leaves (LN), leaf area (LA), stem length (SL), root length (RL) and fresh weight (FW) of root, stem and leaf.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح فسفر و رژیم رطوبتی بر موقعیت آبی و تغذیه‌ای نهال‌های برودار

Table 3- Variance analysis of the effect of phosphorus levels and moisture regime on water and nutritional status of brant's oak seedlings

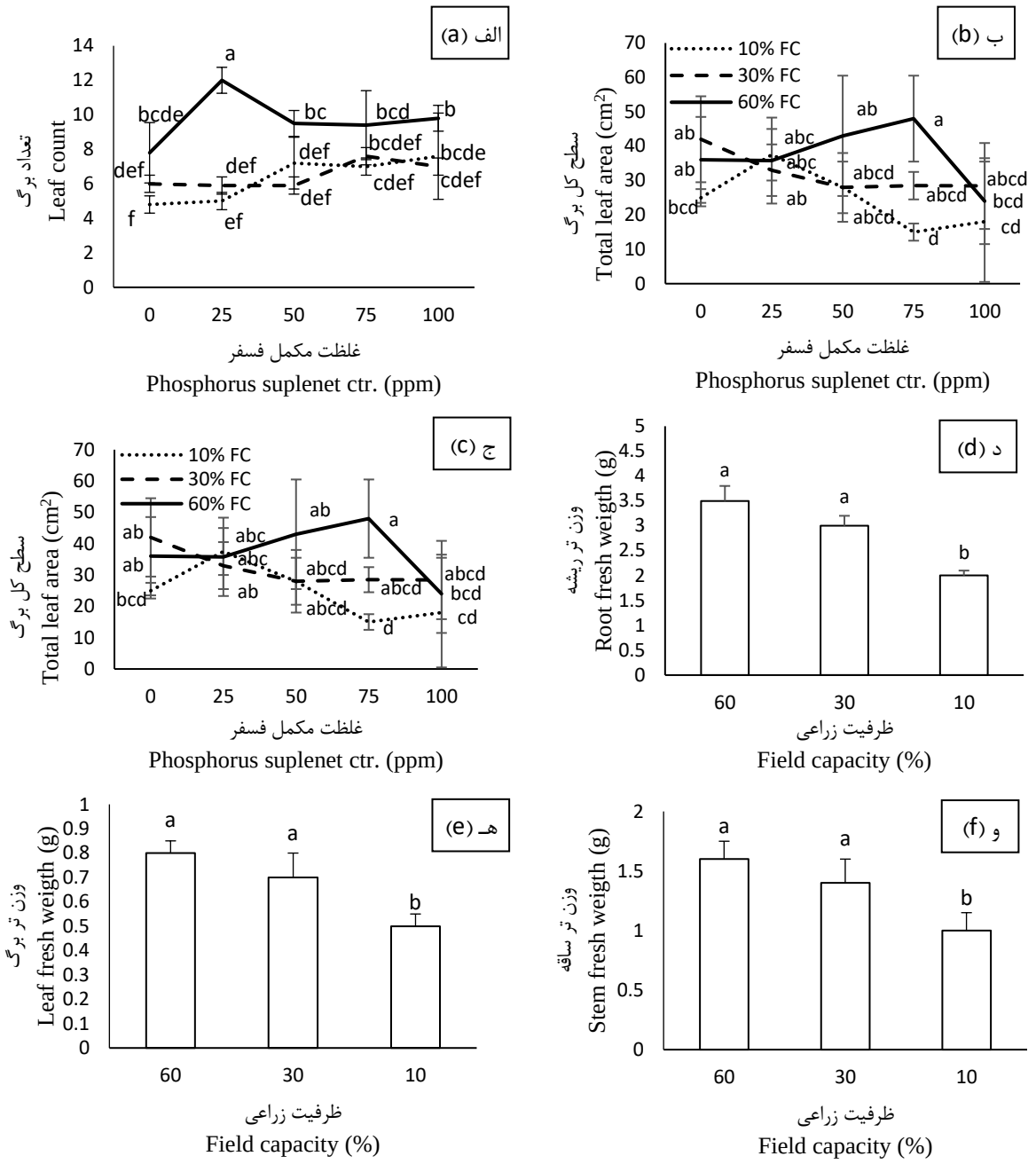
SV	RWC			P	K
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Leaf
P	459^{ns}	1178^{*}	661^{ns}	0.142^{***}	0.132^{***}
SWC	75.9^{ns}	2591^{***}	3429^{ns}	0.347^{***}	0.008^{***}
P × SWC	883^{*}	1517^{***}	503^{ns}	0.048^{***}	0.002^{***}
CVe%	39.9	32.6	42.2	40	30

*، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد آماری و عدم معنی‌داری با ns نشان داده شده است. میانگین مربعات برای منابع تغییر شامل فسفر (P)، محتوای آب خاک (SWC) و اثر متقابل آن‌ها نشان داده شده است. درجه آزادی فسفر، محتوای آب خاک و اثر متقابل آن‌ها به ترتیب ۲، ۴ و ۸ و درجه آزادی خطا ۴۶ است. صفات مورد مطالعه شامل محتوای نسبی آب (RWC) ریشه، ساقه و برگ، و غلظت فسفر (P) و پتاسیم (K) برگ است.

*, ** and *** indicate significance at the 5, 1, and 0.1 percent level, respectively, and non-significance is indicated by ns. Mean squares for sources of variation (SV) including phosphorus (P), soil water content (SWC) and their interaction have shown. The degree of freedom of phosphorus, soil water content and their interaction effect are 2, 4 and 8, respectively, and the degree of freedom of error is 46. The studied traits include relative water content (RWC) of roots, stems and leaves, and phosphorus (P) and potassium (K) concentrations of leaves.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]



شکل ۲- صفات رویشی نهال‌های یک ساله برودار مستقر در خاک‌های با رژیم رطوبتی و فسفر مختلف. تعداد برگ (الف)، سطح کل برگ (ب)، طول ریشه (ج)، وزن تر ریشه (د)، وزن تر برگ (هـ)، وزن تر ساقه (ز). خط بار نشان‌دهنده اشتباه معیار است.

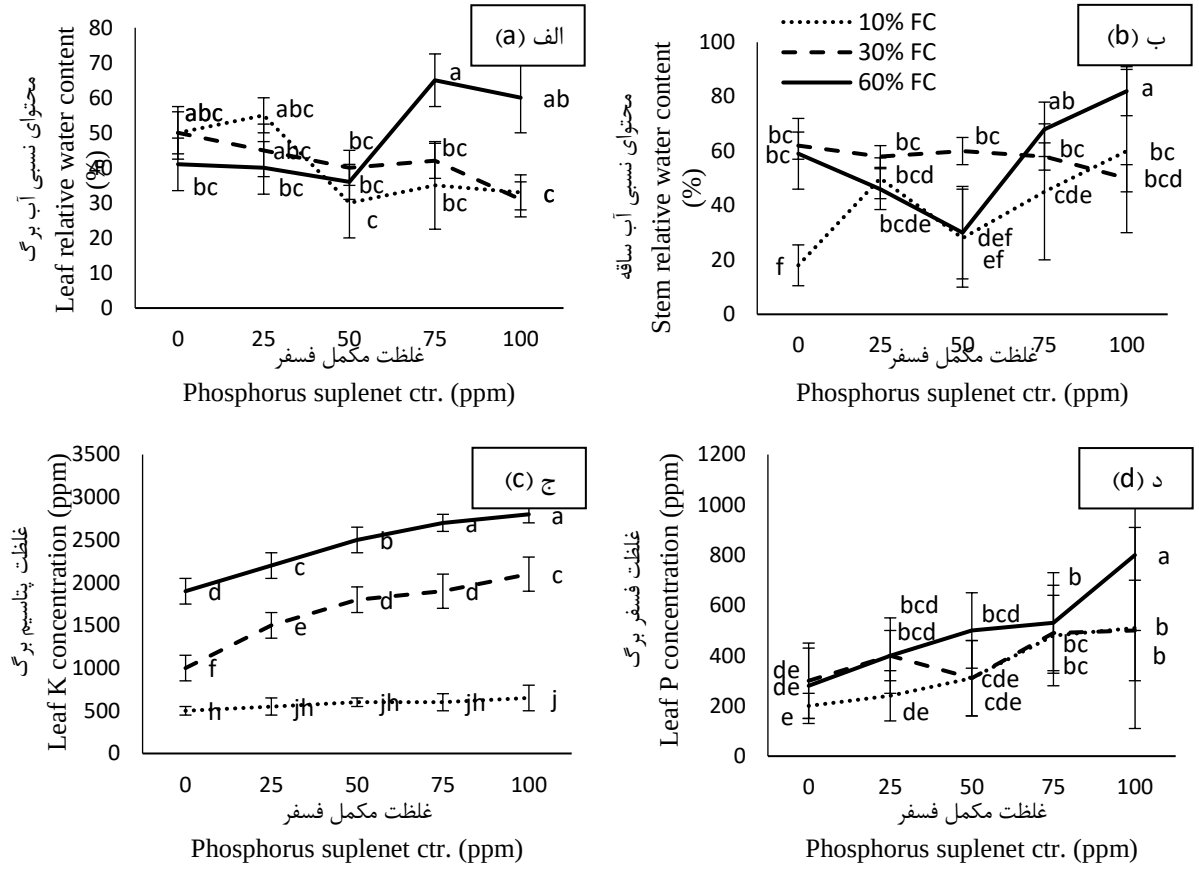
Figure 2- Vegetative characteristics of one-year old brant's oak seedlings established in soils with different moisture and phosphorus regimes. Number of leaves (a), total leaf area (b), root length (c), root fresh weight (d), leaf fresh weight (e), stem fresh weight (g). The bar line represents a standard error.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر محتوای نسبی آب و جذب فسفر و پتاسیم در گیاه

اعمال رژیم‌های آبی مختلف بر نهال‌های یک ساله برودار در دوره آزمایش (سه هفته)، تأثیری در محتوای نسبی آب ریشه نداشت (جدول۳)، همچنین با افزایش سطح فسفر در خاک تغییر معنی‌داری در محتوای نسبی آب ریشه مشاهده نشد (جدول ۳). کمبود آب شدید (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش محتوای نسبی آب ساقه در نهال‌هایی گردید که مکمل فسفر دریافت نکرده بودند و افزودن مکمل فسفر موجب حفظ محتوای نسبی آب ساقه به ویژه در غلظت‌های بالا (۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) گردید (شکل ۳- ب). افزایش سطح فسفر در خاک تاثیری در افزایش محتوای نسبی آب برگ در نهال‌های تحت رژیم کم‌آبی نداشت (شکل ۳- الف)، اما در نهال‌هایی که در رژیم رطوبتی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی قرار داشتند، افزایش سطح فسفر خاک موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید. غلظت پتاسیم و فسفر در برگ نهال‌های برودار با افزایش سطح فسفر خاک و همچنین محتوای رطوبتی خاک افزایش یافت (شکل ۳- ج و د). اما با کاهش محتوای رطوبتی خاک، اثر افزایش فسفر خاک در تجمع فسفر و پتاسیم برگ کاهش یافت.



شکل ۳- روابط آبی و تغذیه‌ای نهال‌های یکساله برودار مستقر در خاک‌های با رژیم رطوبتی و فسفر مختلف. محتوای نسبی آب برگ (الف)، محتوای نسبی آب ساقه (ب)، غلظت پتاسیم برگ (ج)، غلظت فسفر برگ (د). خط بار نشان‌دهنده اشتباه معیار است.

Figure 3- Water and nutritional relationships of one-year old brant's oak seedlings located in soils with different moisture and phosphorus regimes. Relative leaf water content (a), relative stem water content (b), leaf potassium concentration (c), leaf phosphorus concentration (d). The bar line indicates a standard error.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر نرخ نشت الکترولیت‌ها

کمبود آب شدید (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب افزایش نرخ نشت الکترولیت‌ها در برگ و ساقه گردید و تأثیری در نرخ نشت الکترولیت‌ها ریشه نداشت (جدول ۴، شکل ۴). نرخ نشت الکترولیت‌ها در اندام‌های مختلف در نهال‌های رشدیافته در سطوح مختلف فسفر تفاوت معنی‌داری نداشت.

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر عملکرد فتوسیستم II

عملکرد فتوسیستم II در روز با افزایش سطح فسفر خاک افزایش و با کاهش رطوبت خاک کاهش یافت (جدول ۴). عملکرد فتوسیستم II در شب تنها در نهال‌های تحت رژیم کمبود آب شدید (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) که در سطوح کمی از فسفر خاک رشد یافته بودند کاهش یافت. به عبارت دیگر، در شرایط تاریکی، نهال‌هایی که سطح بالایی از فسفر خاک را دریافت نموده بودند قادر به بازسازی کامل محدودیت‌های فتوسیستم II ایجاد شده در روز بودند. شاخص کلروفیل برگ نیز با افزایش سطح فسفر خاک افزایش و با کاهش رطوبت خاک کاهش یافت.

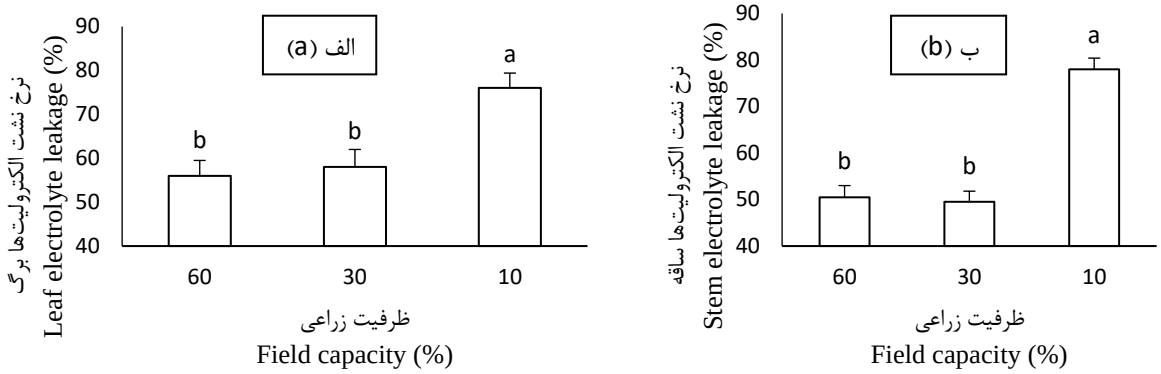
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح فسفر و رژیم رطوبتی بر نرخ نشت الکترولیت‌ها، عملکرد فتوسیستم و شاخص کلروفیل نهال‌های برودار

Table 4- Variance analysis of the effect of phosphorus levels and moisture regime on electrolyte leakage, photosystem performance and chlorophyll index of brant's oak seedlings

SV	EL			$PSII_{opt}$	$PSII_{max}$	SPAD
	Leaf	Stem	Root			
P	0.027^{ns}	0.30^{ns}	0.014^{ns}	0.042^{**}	0.163^{***}	207^{**}
SWC	0.204^{***}	0.388^{***}	0.033^{ns}	1.19^{***}	1.17^{***}	378^{***}
P × SWC	0.011^{ns}	0.070^{ns}	0.024^{ns}	0.024^{ns}	0.159^{***}	4.41^{ns}
CVe%	22.8	16.6	19.37	39	22	25

*، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد آماری و عدم معنی‌داری با ns نشان داده شده است. میانگین مربعات برای منابع تغییر شامل فسفر (P)، محتوای آب خاک (SWC) و اثر متقابل آن‌ها نشان داده شده است. درجه آزادی فسفر، محتوای آب خاک و اثر متقابل آن‌ها به ترتیب ۲، ۴ و ۸ و درجه آزادی خطا ۴۶ است.

*, ** and *** indicate significance at the 5, 1, and 0.1 percent level, respectively, and non-significance is indicated by ns. Mean squares for sources of variation (SV) including phosphorus (P), soil water content (SWC) and their interaction have shown. The degree of freedom of phosphorus, soil water content and their interaction effect are 2, 4 and 8, respectively, and the degree of freedom of error is 46. The studied traits include electrolyte leakage (EL) of roots, stems and leaves, optimum and maximum performance of photosystem II ($PSII_{opt}$ and $PSII_{max}$) and chlorophyll index (SPAD).

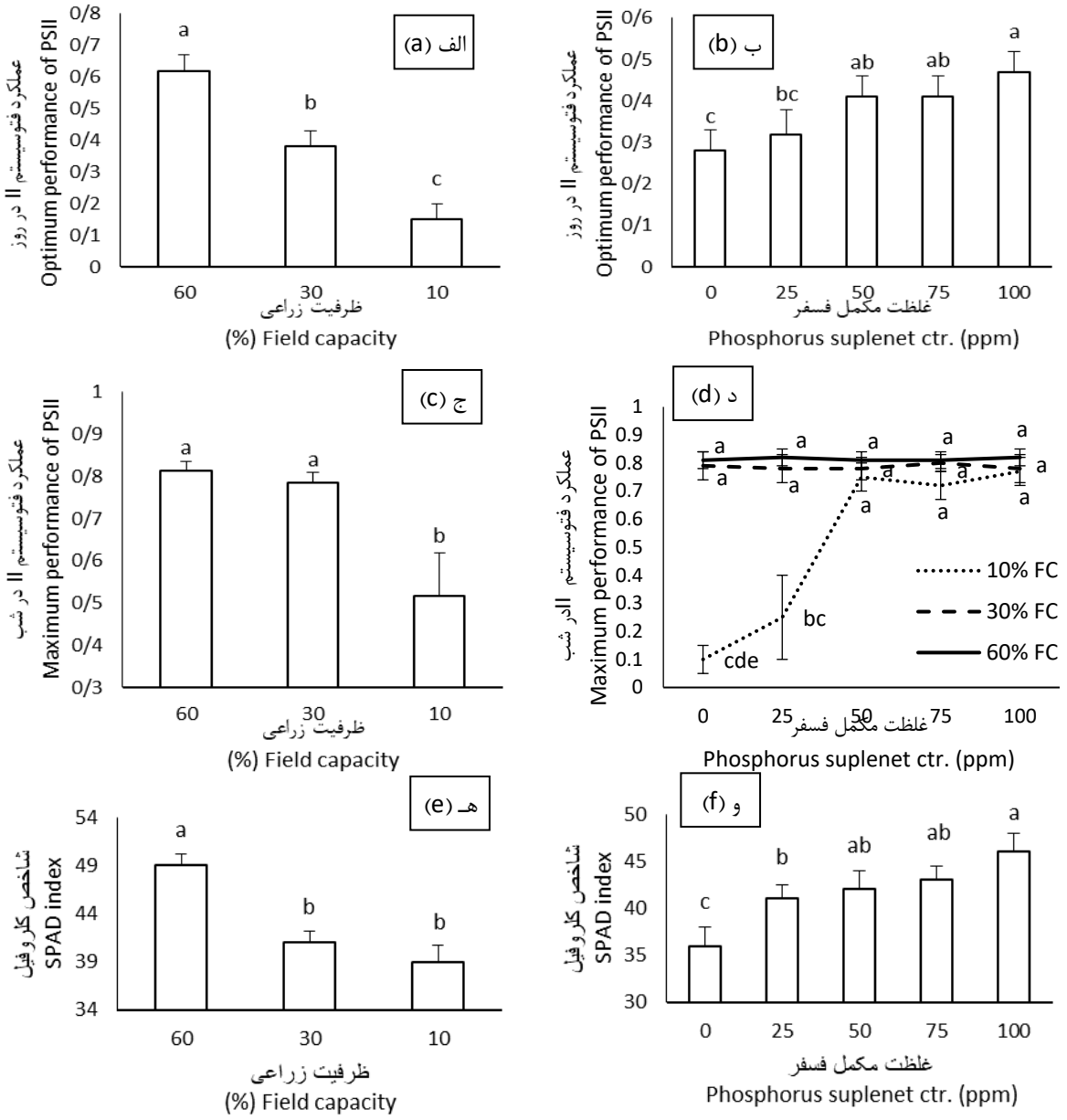


شکل ۴- نرخ نشت الکترولیت‌ها در اندام‌های مختلف نهال‌های یک ساله برودار مستقر در خاک‌های با رژیم رطوبتی و فسفر مختلف. برگ (الف)، ریشه (ب). خط بار نشان‌دهنده اشتباه معیار است.

Figure 4- Electrolyte leakage in different tissues of one-year old brant's oak seedlings located in soils with different moisture and phosphorus regimes. Electrolyte leakage in leaf (a), Electrolyte leakage in stem (b). The bar line indicates a standard error.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]



شکل ۵- صفات فتوسنتزی نهال‌های یکساله برودار مستقر در خاک‌های با رژیم رطوبتی و فسفر مختلف. اثر فسفر خاک بر عملکرد فتوسیستم II در روز (الف)، اثر رطوبت خاک بر عملکرد فتوسیستم II در روز (ب)، اثرات متقابل رطوبت و فسفر خاک بر عملکرد فتوسیستم II در شب (ج)، اثر رطوبت خاک بر عملکرد فتوسیستم II در شب (د)، اثر فسفر خاک بر شاخص کلروفیل (هـ)، اثر رطوبت خاک بر شاخص کلروفیل (و). خط بار نشان‌دهنده اشتباه معیار می‌باشد.

Figure 5- Photosynthetic characteristics of one-year old brant's oak seedlings located in soils with different moisture and phosphorus regimes. The effect of soil phosphorus on the performance of photosystem II during the day (a), the effect of soil moisture on the performance of photosystem II during the day (b), the interaction effects of soil moisture and phosphorus on the performance of photosystem II at night (c), the effect of soil moisture on the performance of photosystem II in Night (d), the effect of soil phosphorus on chlorophyll index (e), the effect of soil moisture on chlorophyll index (f). The bar line indicates a standard error.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

بحث

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر صفات رویشی

کاهش محتوای رطوبتی خاک، تمام صفات رویشی مورد اندازه‌گیری به جز طول ساقه را کاهش داد (جدول ۲، شکل ۲). با توجه به اینکه شروع تیمار خشکی اوایل تابستان بود، کاهش فعالیت مریستم انتهایی پیش از شروع تنش خشکی می‌تواند دلیل عدم تأثیر رژیم‌های کمبود آب بر طول ساقه باشد. علت کاهش تعداد برگ در نهال‌های تحت رژیم خشکی، می‌تواند علاوه بر کاهش نرخ برگ‌زایی، به دلیل خزان بخشی از برگ‌های گیاه باشد. این پدیده می‌تواند در نتیجه منجر به کاهش تبخیر و تعرق و افزایش مقاومت به تنش کمبود آب شود. به طور کلی افزایش سطح فسفر در خاک موجب کاهش برگ‌زایی و کاهش مساحت برگ (Gutiérrez-Boem & Thomas, 1998) و افزایش رشد ریشه (Singh & sale, 2000) می‌گردد.

اثرات محدودکننده فسفر خاک بر توسعه اندام هوایی گیاه عمدتا در غلظت‌های بالا ایجاد می‌گردد و در شرایط رطوبتی بهینه و غلظت‌های کم فسفر، افزایش عملکرد رویشی در اندام هوایی گیاهان گزارش شده است (Ronaghi *et al*., 2002). همچنین در برخی از موارد افزایش فسفر خاک در شرایط تنش آبی نیز موجب افزایش عملکرد رویشی گردیده است (Payne *et al*., 1991). در این آزمایش افزایش سطح فسفر در خاک منجر به کاهش عمومی توسعه اندام هوایی در نهال‌های برودار نشد (جدول ۲) و حتی در شرایط رژیم آبی بهینه، سطوحی از فسفر موجب تحریک برگزایی (۲۵ میلی گرم در کیلوگرم) و افزایش مساحت کل برگ‌ها (۷۵ میلی گرم در کیلوگرم) گردید. با توجه به پایین بودن سطح فسفر در خاک مورد استفاده (۵/۵ میلی گرم در کیلوگرم) استفاده از کود فسفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک اثرات محدود کننده‌ای بر توسعه اندام‌های هوایی نهال‌های برودار نداشت. گیاهانی که ریشه‌های بلندتری دارند، به دلیل امکان دستیابی بیشتر به منابع آب برای رشد در محیط های خشک سازگارتر هستند (Sing & Sale, 2000). افزایش هر یک از عامل‌های مورد آزمایش (فسفر و محتوای رطوبتی خاک) موجب افزایش طول ریشه در نهال‌های برودار گردید، اما نرخ افزایش طول ریشه به ازای یک واحد افزایش فسفر در شرایط کمبود آب شدید بیشتر از سایر شرایط آبی بود. این موضوع سبب شد که اختلاف طول ریشه بین تیمارهای آبی در شرایطی که فسفر خاک کم است زیاد و در شرایطی که فسفر خاک زیاد است کم باشد. وزن تر اندام‌های ریشه، ساقه و برگ نهال‌ها با کاهش محتوای آب خاک کاهش یافت اما تغییر فسفر خاک اثر معنی‌داری بر وزن تر اندام‌های ریشه، ساقه و برگ نداشت (جدول ۲).

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر محتوای نسبی آب و جذب فسفر و پتاسیم در گیاه

افزایش سطح فسفر خاک موجب افزایش محتوای پتاسیم برگ در تمام شرایط رطوبتی مورد مطالعه گردید، اما شدت این افزایش در شرایط کم‌آبی کاهش یافت (جدول ۳، شکل ۳-ج). این یافته همسو با یافته‌های سایر محققین است که نشان می‌دهد کاربرد کودهای فسفره می‌تواند با تغییرات شیمیایی حاصل از حضور یون‌های فسفات در خاک موجب افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم گردد و این اثر با کاهش محتوای رطوبتی خاک کاهش می‌یابد (Singh & Lal, 1961). استفاده از کود فسفره موجب افزایش تجمع فسفر در برگ نهال‌های برودار گردید و کم آبی غلظت فسفر را در برگ نهال‌های برودار کاهش داد جدول ۳، شکل ۳-د). اما اثر متقابل معنی داری بین غلظت فسفر خاک و محتوای رطوبتی خاک در تجمع فسفر در برگ نهال‌های برودار مشاهده شد (جدول ۳، شکل ۳-د). به نحویکه با کاهش تدریجی محتوای آب خاک تا ۱۰ درصد ظرفیت زراعی و در مدت سه هفته، کاهش معنی‌داری در غلظت فسفر برگ نهال‌هایی که تا میزان ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کود فسفره دریافت کرده بودند، مشاهده نشد و تنها در نهال‌هایی که به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود فسفره دریافت نموده بودند، اثرات محدود کننده کم‌آبی بر تجمع فسفر در گیاه قابل مشاهده بود. اثرات متقابل افزاینده بین محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر جذب فسفر در اندام هوایی گیاهان توسط محققین مختلفی مشاهده شده است. از جمله Pourrafezi و

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

Afkari (۲۰۱۷) نشان دادند که میزان جذب فسفر در گیاه ذرت با افزایش محتوای رطوبتی خاک و افزایش سطح فسفر خاک افزایش می‌یابد. محتوای نسبی آب ساقه و برگ در نهال‌های برودار مستقر در رژیم رطوبتی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با افزایش محتوای فسفر خاک افزایش یافت، اما در شرایط کم‌آبی شدید، افزایش سطح فسفر خاک تنها محتوای نسبی آب ساقه را افزایش داد (جدول ۳، شکل ۳-الف و ۳-ب). با توجه به اثر مستقیم فسفر در جذب پتاسیم (Chen *et al*., 2016) و نقش پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها (Li *et al*., 2021)، می‌توان افزایش محتوای نسبی آب در برودار را به تأثیر فسفر در افزایش جذب پتاسیم نسبت داد.

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر نرخ نشت الکترولیت‌ها

کاهش محتوای آب خاک تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری بر نرخ نشت الکترولیت‌ها در اندام‌های مختلف نهال‌های برودار در مدت آزمایش نداشت؛ اما در شرایط کم آبی شدید (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) نرخ نشت الکترولیت‌ها در برگ و ساقه نهال‌های برودار افزایش یافت (جدول ۴، شکل ۴). افزایش نرخ نشت الکترولیت‌ها یکی از نشانه‌های آسیب غشاء سلولی برگ گیاه در شرایط تنش از جمله تنش کمبود آب است که به دلیل افزایش اکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی و کم‌کارآمدی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در کاهش سطح اکسیژن‌های فعال ناشی از تنش است (Bowler *et al*., 1992). در تحقیق حاضر، نرخ نشت الکترولیت در ریشه نهال‌های برودار در شرایط کم‌آبی شدید (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) تفاوت معنی‌داری را در دوره مورد آزمایش (۲۰ روز) نشان نداد. گزارش‌های فراوانی مبنی بر افزایش نرخ نشت الکترولیت‌ها در اندام‌های مختلف گیاهان ناشی از تنش خشکی وجود دارد؛ اما در برخی موارد نرخ نشت الکترولیت‌ها در گیاهان تحت تنشی که از مکانیسم‌های محافظتی موثری مانند افزایش تراکم برخی ترکیبات قندی، اسیدهای آلی و یا سایر ترکیبات آلی بهره‌مند هستند، تغییر نمی‌کند و حتی در برخی موارد کاهش می‌یابد. از جمله Villar-Salvador و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی که بر روی گونه *Quercus ilex* انجام دادند، مشاهده کردند نرخ نشت الکترولیت برگ در شرایط کمبود آب متوسط کاهش یافت و در شرایط کمبود آب شدید تفاوت معنی‌داری با کنترل نداشت. آسیب‌پذیری بیشتر اندام‌های هوایی گیاهان نسبت به ریشه در مواجهه با تنش خشکی در سایر پژوهش‌ها نیز مشاهده شده است. در پژوهشی که توسط(Zolfaghari *et al*., 2022) انجام شد، قطع کامل آبیاری به مدت سه هفته موجب افزایش نرخ نشت الکترولیت‌ها در تمام اندام‌های نهال‌های برودار گردید؛ اما میزان آسیب در برگ و ساقه بیشتر از ریشه بود.

اثر محتوای رطوبتی و فسفر خاک بر عملکرد فتوسیستم II و شاخص کلروفیل

کاهش محتوای رطوبتی خاک موجب کاهش شاخص کلروفیل و افت عملکرد فتوسیستم II در روشنایی شد (شکل ۵- ب و ۵- و). کاهش عملکرد فتوسیستم II در نهال‌های برودار مستقر در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در تمام سطوح فسفر برگشت‌پذیر بود، بطوریکه عملکرد آن در تاریکی بازیابی شد. اما در شرایط کم آبی شدید (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) تنها گیاهانی که سطوح بالایی از فسفر را دریافت کرده بودند قادر به ترمیم عملکرد فتوسیستم II در تاریکی گردیدند (شکل ۵- ج). همچنین افزایش سطح فسفر خاک، اثرات مثبتی بر شاخص کلروفیل داشت. پیش از این رابطه مستقیم سطح فسفر خاک با غلظت کلروفیل برگ (Lopez *et al*., 1994) و عملکرد فتوسیستم II (Tariq *et al*., 2017) به ویژه در شرایط کمبود آب در پژوهش‌های دیگران گزارش شده است. افزایش عملکرد فتوسیستم II می‌تواند به دلایل متعددی از جمله افزایش تراکم کلروفیل، افزایش کاتیون‌هایی مانند پتاسیم و منیزیم (Tränkner *et al*., 2018)، افزایش مراکز واکنش نوری و یا افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانی باشد. هر یک از این عوامل می‌توانند به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم میزان عملکرد فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار دهند.

نتیجه‌گیری کلی

کاهش محتوای آب خاک تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و به مدت سه هفته اثرات محدود کننده قابل توجهی در نهال‌های یکساله برودار از نظر عملکرد فتوسیستم II و سلامت غشای سیتوپلاسمی ایجاد نکرد و تنها موجب کاهش برخی

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

عملکردهای رویشی و جذب عناصر غذایی گردید. اما، تشدید کمبود آب خاک تا ۱۰ درصد ظرفیت زراعی علاوه بر محدودیت‌های رویشی و تغذیه‌ای، موجب بروز علائمی از تنش اکسیداتیو (افزایش نرخ نشت الکترولیت‌ها، کاهش عملکرد فتوسیستم II در تاریکی) و کاهش زی‌توده در اندام‌های مختلف گیاه گردید. کاربرد فسفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی مانند افزایش جذب فسفر و پتاسیم و حفظ محتوای نسبی آب ساقه شد. همچنین، کاربرد فسفر موجب کاهش برخی پیامدهای تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب در نهال‌های برودار (عملکرد فتوسیستم II) گردید، اما اثر مثبتی بر محافظت از غشای سیتوپلاسمی در برابر تنش اکسیداسیونی ناشی از تنش خشکی مشاهده نشد. یافته‌های این تحقیق در مجموع نشان دهنده نقش موثر فسفر در افزایش مقاومت نهال‌های برودار در برابر تنش خشکی است. بر اساس نتایج این تحقیق با افزایش تراکم فسفر قابل جذب در محیط ریزوسفر نهال‌های بلوط امکان دستیابی به نهال‌های مقاوم در برابر خشکی امکان پذیر است. این کار می‌تواند از طریق استفاده از کودهای فسفره، باکتری‌های حل کننده فسفات (Zolfaghari *et al*., 2022) و یا کاشت در بخش‌هایی از جنگل که تراکم فسفر بیشتری دارد (Owliaie *et al*., 2011; Dahlgern & Singer, 1991) اجرا گردد. برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود انواع دیگری از کودهای فسفر از جمله کودهای زیستی، با غلظت‌های بیشتر و در دوره خشکی طولانی‌تر مورد آزمایش قرار بگیرند. همچنین نقش فسفر در بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه برودار در شرایط خشکی به طور عمیق‌تری مورد مطالعه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم لیلا رنجبر است که با حمایت مالی دانشگاه یاسوج اجرا شده است.

منابع

Achakzai, A.K.K. 2011. Effect of water potential on uptake and accumulation of cations by sorghum seedlings. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 29(6): 321.

Ansari, W.A., Atri, N., Pandey, M., Singh, A.K., Singh, B. & Pandey, S. 2019. Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: A review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(4): 697-709. [DOI:10.13005/bbra/2785]

Bowler, C., Montagu, M.V. & Inze, D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 43(1): 83-116. [DOI:10.1146/annurev.pp.43.060192.000503]

Chen, L., Jia, H.Y., Zeng, J. & Dell, B. 2016. Growth and nutrient efficiency of Betula alnoides clones in response to phosphorus supply. *Annals of Forest Research*, 59(2): 199-207. [DOI:10.15287/afr.2016.561]

Dahlgren, R. & Singer, M.J. 1991. Nutrient cycling in managed and unmanaged oak woodland-grass ecosystems. In In: Standiford, Richard B., tech. coord. 1991. Proceedings of the symposium on oak woodlands and hardwood rangeland management; October 31-November 2, Davis, California. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-126. Berkeley, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, US Department of Agriculture, Vol. 126, 337-341Pp.

Edraki, M., Kowsar, S.A., Mehrbakhsh, A.A. & Bordbar, A. 2007. Water consumption of a six-year-old river red gum plantation in the southern Zagros Mountains, Iran. *Journal of Mountain Science*, 4(2): 136-145. [DOI:10.1007/s11629-007-0136-y]

Gutiérrez-Boem, F.H. & Thomas, G.W. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. *Agronomy Journal*, 90(2): 166-171. [DOI:10.2134/agronj1998.00021962009000020008x]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

Fayyaz, P., Etemadi, E., Julaiee-Manesh, N. & Zolfaghari, R. 2013. Sodium and potassium allocation under drought stress in Atlas mastic tree (Pistacia atlantica subsp. mutica). *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(2): 90. [DOI:10.3832/ifor0856-006]

Jafarnia, S., Akbarinia, M., Hosseinpour, B., Modarres Sanavi, S.A.M. & Salami, S.A. 2018. Effect of drought stress on some growth, morphological, physiological, and biochemical parameters of two different populations of *Quercus brantii*. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 11(2): 212. [DOI:10.3832/ifor2496-010]

Jones, C.A. 2003. The effects of P fertilization on drought tolerance of malt barley. In Western Nutrient Management Conference, Salt Lake City, UT, 5, 88-93.

Knudsen, D., Peterson, G.A. & Pratt, P.F. 1983. Lithium, sodium, and potassium. Methods of Soil Analysis: Part 2 *Chemical and Microbiological Properties*, 9: 225-246. [DOI:10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13]

Li, X., He, N., Xu, L., Li, S. & Li, M. 2021. Spatial variation in leaf potassium concentrations and its role in plant adaptation strategies. *Ecological Indicators*, 130: 108063. [DOI:10.1016/j.ecolind.2021.108063]

Lopez-Cantarero, I., Lorente, F.A. & Romero, L. 1994. Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels? Journal of Plant Nutrition, 17(6): 979-990. [DOI:10.1080/01904169409364782]

Nazari, M., Zolfaghari, R. & Fayyaz, P. 2013. An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. Forest and Wood Products, 66(1): 1-4. [In Persian]

Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.

Owliaie, H.R., Adhami, E., Faraji, H. & Fayyaz, P. 2011. Influence of oak (*Quercus brantii* Lindl.) on selected soil properties of oak forests in Yasouj region. *Journal of water and Soil Science*, 15(56): 193-207. [In Persian]

Payne, W.A., Lascano, R.J., Hossner, L.R., Wendt, C.W. & Onken, A.B. 1991. Pearl millet growth as affected by phosphorus and water. Agronomy Journal, 83(6): 942-948. [DOI:10.2134/agronj1991.00021962008300060005x]

Pourrafezi A.R. & Afkari A. 2017. The effect of mycorrhiza and phosphorus fertilizer application on some corn quantitative and qualitative traits under drought stress. *Agroecology Journal*, 13(1): 39-48.

Ronaghi, A., Chakerolhosseini, M.R. & Karimian, N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(2): 53-66.

Sardans, J. & Peñuelas, J. 2007. Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest. *Functional Ecology*, 21(2): 191-201. [DOI:10.1111/j.1365-2435.2007.01247.x]

Singh, J.N., & Lal, K.N. 1961. Absorption and accumulation of potassium in component parts of sugarcane as affected by age, phosphorus deficiency and phosphorus fertilization. Soil Science and Plant Nutrition, 7(4): 139-145. [DOI:10.1080/00380768.1961.10430970]

Singh, D.K. & Sale, P.W. 2000. Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agronomy Journal*, 92(5): 868-874. [DOI:10.2134/agronj2000.925868x]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]

Sisakhtnejad, M., Zolfaghari, R. & Fayyaz, P. 2016. Assessment of drought resistant of *Quercus brantii* and *Q. Libanii* seedlings using growth, physiological and nutrient uptake. *Applied Biology*, 30(2): 137-157. [In Persian]

Speranza, M., Çakan, H. & Ferroni, L. 2020. A safe hotspot. Plant biodiversity and the natural and cultural heritage at Tilmen Höyük. An integrated approach for an archaeological and environmental park in south-eastern Turkey: Tilmen Höyük, Springer Nature, 209-217. [DOI:10.1007/978-3-030-32754-5_11]

Tariq, A., Pan, K., Olatunji, O.A., Graciano, C., Li, Z., Sun, F., Sun, X., Song, D., Chen, W., Zhang, A., Wu, X., Zhang, L., Mingrui, D., Xiong, Q. & Liu, C. 2017. Phosphorous application improves drought tolerance of Phoebe zhennan. *Frontiers in plant science*, 8: 1561. [DOI:10.3389/fpls.2017.01561] [PMID]

Tränkner, M., Tavakol, E. & Jákli, B. 2018. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia plantarum*, 163(3): 414-431. [DOI:10.1111/ppl.12747] [PMID]

Trenberth, K.E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P.D., Barichivich, J., Briffa, K. R. & Sheffield, J. 2014. Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1): 17-22. [DOI:10.1038/nclimate2067]

Villar-Salvador, P., Planelles, R., Oliet, J., Peñuelas-Rubira, J. L., Jacobs, D.F. & González, M. 2004. Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree physiology*, 24(10): 1147-1155. [DOI:10.1093/treephys/24.10.1147] [PMID]

Zolfaghari, R., & Akbarinia, M. 2018. Physiological and biochemical responses of Quercus brantii seedlings to water deficit stress. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(2): 165-177.

Zolfaghari, R., Rezaei, K., Fayyaz, P., Naghiha, R. & Namvar, Z. 2021. The effect of indigenous phosphate-solubilizing bacteria on *Quercus brantii* seedlings under water stress. *Journal of Sustainable Forestry*, 40(7): 733-747. [DOI:10.1080/10549811.2020.1817757]

Zolfaghari, R., Dalvand, F., Fayyaz, P. & Solla, A. 2022. Maternal drought stress on Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) affects susceptibility to single and combined drought and biotic stress in offspring. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 194: 104716. [DOI:10.1016/j.envexpbot.2021.104716]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

[DOI: 10.61186/jfer.4.1.41]