



القای مقاومت به خشکی و قارچ زغالی در نهال‌های برودار با استفاده از پرایمینگ بذر

پریسا صمیمی^۱، پیام فیاض^{۲*}، فریبا قادری^۳ و رقیه ذوالفقاری^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
^۲ دانشیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
^۳ استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
^۴ دانشیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲)

چکیده

در این تحقیق از پرایمینگ بذر بلوط با مواد مختلف برای القای مقاومت به قارچ زغالی و خشکی در سال اول رشد استفاده شد. به این منظور بذرها در محلول‌هایی از اسید سالیسیلیک، اسید ایندول بوتریک و نیترات پتاسیم خیسانده شده و نهال‌های حاصل از نظر مقاومت به قارچ زغالی بلوط و خشکی آزمایش شدند. تیمارهای کمبود آب (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و مابه‌زنی با قارچ بیماری‌زا (*Biscogniauxia mediterranea*) موجب کاهش عملکرد فتوسنتز، شاخص کلروفیل، پتانسیل آبی، تعرق و هدایت روزنه‌ای در نهال‌های برودار شدند. پرایمینگ بذرها با اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در محدود کردن زخم ساقه در نهال‌های حاصل داشت و در شرایط تنش رطوبتی، پتانسیل آبی ریشه و ساقه را حفظ کرد و فراوانی سلول‌های پارانشیمی اشعه را افزایش داد. پرایمینگ با اسید ایندول بوتریک اثرهای مشابهی را در محدود کردن زخم نشان داد، اما اثرهای ضعیف‌تری نسبت به اسید سالیسیلیک بر روابط آبی گیاه و فراوانی سلول‌های پارانشیمی اشعه نشان داد. نیترات پتاسیم تأثیری در القای مقاومت به بیماری نشان نداد و تغییر چندانی در روابط آبی گیاه ایجاد نکرد. در مجموع به نظر می‌رسد که پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک تأثیر مهمی در القای مقاومت سیستمیک نهال‌های برودار به قارچ زغالی و خشکی در سال اول رشد دارد. استفاده از نتایج این تحقیق می‌تواند راهکارهای نوینی را برای دستیابی به نهال‌های اصلاح‌شده در اختیار قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: اسید ایندول بوتریک، اسید سالیسیلیک، قارچ زغالی بلوط، کمبود آب، نیترات پتاسیم.

مقدمه

جنگل‌ها وارد آورده است (Mir Abolfathi, 2013). در زمان تنش، عامل بیماری به درون بافت‌های آوندی نفوذ می‌کند و در بافت‌های چوب و پوست درختان در طول یک فصل رویشی کلونیزه می‌شود. در صورت تداوم تنش، این قارچ گسترش می‌یابد و به تدریج موجب خشک شدن شاخ‌وبرگ درختان و در نهایت مرگ درختان می‌شود (Vannini et al., 2009). کنترل صدمات ناشی از آفات و بیماری‌ها از مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در توسعه پایدار جنگل‌های زاگرس

بلوط برودار (*Quercus brantii* Lindl.) از مهم‌ترین گونه‌های درختی جنگل‌های زاگرس از نظر وسعت پراکندگی است. افزایش دوره‌های خشکسالی موجب ضعف فیزیولوژیکی و محدودیت رشد و توسعه این گونه شده و قارچ‌های اندوفیتی مانند *Biscogniauxia mediterranea* (de Not.) Kuntze را به یک بیمارگر مهاجم تبدیل کرده که با ایجاد بیماری زغالی بلوط خسارت‌های گسترده‌ای به این

چربی (وابسته به اسید فسفوگلیسریک) هستند که به دیگر بخش‌های گیاه ارسال می‌شوند. حد تأثیر این محرک‌ها بسته به نوع محرک، غلظت محرک، گونه و زمان استفاده متفاوت است (Ádám et al., 2018).

از ترکیبات القاکننده مقاومت سیستمیک در گیاهان می‌توان اسید سالیسیلیک (Senaratna et al., 2000)، اسید ایندول بوتریک (Ghafoor et al., 2020) و نیترات پتاسیم (Moazz Ali et al., 2020) را نام برد. اسید سالیسیلیک نوعی تنظیم‌کننده رشد گیاهی از گروه فنل‌ها، اسید ایندول بوتریک یک هورمون گیاهی از گروه اکسین‌ها، و نیترات پتاسیم یک نمک محلول در آب است. این مواد قادر به تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان با مهار سیستم‌های پاداکسیدانی، تولید اسمولیت‌ها، بسته شدن روزنه‌ها، مهار رشد، جوانه‌زنی بذر، افزایش مقدار فتوسنتز و محتوای کلروفیل هستند (Farooq et al., 2009). همچنین استفاده از این مواد می‌تواند از طریق اصلاح ساختار آناتومی گیاه مانند افزایش فراوانی اشعه در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و مقاومت به بیماری گردد.

از طرفی پرایمینگ بذر با استفاده از محلول‌های مختلف موجب آب‌نوشی و فعال شدن فرآیندهای متابولیکی آغازکننده جوانه‌زنی می‌شود، استفاده از این روش به‌خصوص در شرایط محیطی نامطلوب موجب افزایش سرعت، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی و تولید نهال‌های با بنیه قوی می‌شود (Mauromicale & Cavallaro, 1995). پرایمینگ در بذرهای سبب رونویسی زودهنگام DNA، افزایش پروتئین سنتتاز و RNA و افزایش رشد روبان و ترمیم بخش‌های آسیب‌دیده گیاه و کاهش ترشحات متابولیت می‌شود. این عوامل می‌توانند یکنواختی و مقدار جوانه‌زنی بذر را و ظهور گیاهچه را بهبود بخشند (Omidi et al., 2005).

اثر اسید سالیسیلیک، اسید ایندول بوتریک و

از طریق حفظ جامعیت جنگل است (Salmani et al., 2021). این کار در ایران به‌طور پراکنده با عملیاتی مانند برش‌های بهداشتی (Khodami et al., 2021)، محلول‌پاشی سموم زیستی و آبخیزداری انجام می‌گیرد. همچنین گام‌هایی برای شناسایی درختان مادری مرغوب و مقاوم از نظر ژنتیکی با استفاده از نشانگرهای مولکولی در سطح پژوهشی برداشته شده است (Karimi et al., 2021).

هرساله بخش زیادی از بودجه سازمان جنگل‌ها و مراتع ایران به‌عنوان متولی اصلی بخش جنگل در کشور و نیز بودجه دیگر نهادها، سازمان‌ها و گروه‌های علاقه‌مند در کشور صرف جنگلکاری و بذرکاری با این‌گونه در جنگل‌های زاگرس می‌شود. استفاده از منابع بذر مطمئن که متضمن استقرار و رشد نهال‌هایی با بنیه قوی باشد، با نقش مثبتی که در افزایش کارآمدی عملیات غنی‌سازی و احیای جنگل دارد، هزینه‌های عملیات را به‌نحو چشمگیری کاهش می‌دهد.

یکی از راه‌های دستیابی به نهال‌های با بنیه قوی، توجه به ویژگی‌های بذر و درختان مادری است. به‌طوری که برخی تحقیقات نشان می‌دهد که درختان بلوط دارای بذرهای پهن‌تر و نسبت طول به قطر کمتر برای کاشت و تولید نهال از عملکرد بهتری برخوردارند (Zolfaghari et al., 2013).

یکی دیگر از راه‌های افزایش بنیه نهال‌ها، القای مقاومت سیستمیک در آنهاست که می‌تواند پیش از جوانه‌زنی (با پرایمینگ بذر) یا پس از آن (با محلول‌پاشی روی برگ) صورت گیرد. القای مقاومت سیستمیک، نوعی تغییر فیزیولوژیکی است که توانایی دفاعی را توسط محرک‌های خاص افزایش می‌دهد (Van Loon et al., 1998). این محرک‌ها موجب تولید پیام‌های ثانویه با ترکیبات متنوعی مانند ترکیبات مبتنی بر پروتئین (پروتئین‌های ناقل چربی و تجزیه‌کننده لیزین)، مبتنی بر اسید (متیل سالیسیلیک، رزینی و دی‌کربوکسیلیک)، یا مبتنی بر

کیسه‌های نایلونی (۱۵ در ۲۰ سانتی‌متری) با هدف تولید و پرورش نهال‌های یکساله بلوط برودار انجام گرفت. گلدان‌ها با مخلوطی از خاک رس منطقه، ماسه و کود حیوانی به نسبت حجمی ۱:۱:۲ پر شدند. گلدان‌ها هر دو تا سه روز یک بار بسته به شرایط آب‌وهوایی و نیاز خاک گلدان‌ها آبیاری شدند. گلدان‌ها در اردیبهشت ۱۳۹۹ از فضای باز به محیط گلخانه انتقال یافتند و علف‌های هرز گلدان‌ها وجین شد. بیشینه دمای گلخانه بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، کمینه دما بین ۱۰ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط نور فعال فتوسنتزی ۱۴۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه در طی دوره آزمایش ثبت شد (Samimi, 2021).

شیوه اجرای پژوهش

قارچ عامل بیماری در این تحقیق *Biscogniauxia mediterranea* بود که از کلکسیون آزمایشگاه گروه گیاهپزشکی دانشگاه یاسوج استفاده شد. این قارچ در شرایط آزمایشگاهی روی محیط کشت PDA (Potato Dextrose Agar) کشت و در دمای بهینه ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای مایه‌زنی نهال‌های بلوط، از پرگنه‌های پنج‌روزه قارچ در محیط کشت استفاده شد (شکل ۶ الف). مایه‌زنی نهال‌ها در سوم آبان‌ماه ۱۳۹۹ صورت گرفت. شش نهال از هر یک از پیش‌تیمارهای نیترات پتاسیم ۰/۵ درصد، اسید سالیسیلیک ۱۵۰ پی‌پی‌ام و ایندول بوتیریک اسید ۱۰۰ پی‌پی‌ام برای مایه‌زنی انتخاب شدند، به‌نحوی که از نظر ارتفاع ساقه، تعداد برگ و درجه شادابی با شش نهال دیگر همان پیش‌تیمار که مایه‌زنی با قارچ نمی‌شوند برابر باشد. برای شروع مایه‌زنی ابتدا پوست ساقه در محل مایه‌زنی (حدود ۲ سانتی‌متر بالای طوقه) با اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی سطحی شد و سپس با استفاده از تیغ استریل، زخمی T شکل به قطر حدود ۲ میلی‌متر تا رسیدن به آوند چوبی ایجاد شد. بلوک‌های جوان میسلیمی قارچ، داخل زخم ایجادشده قرار گرفتند و سپس زخم با پارافیلیم بسته

نیترات پتاسیم در بهبود مقاومت برخی گیاهان در برابر تنش خشکی به اثبات رسیده است، اما هیچ اطلاعی از مقدار مؤثر بودن این روش‌ها و نیز غلظت‌های بهینه مواد در ارتقای بنیه نهال‌های برودار و مقاومت به خشکی و بیماری در آنها وجود ندارد. هدف این تحقیق، افزایش کارایی عملیات غنی‌سازی و احیا با تأکید بر افزایش مقاومت به کم‌آبی و بیماری زغالی بلوط با استفاده از روش‌های کاربردی و کم‌هزینه مانند پرایمینگ بذر برودار در جنگل‌های زاگرس است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و پرایمینگ بذر

بذرهای مورد نیاز در آبان ۱۳۹۸ از منطقه دلی اولاد علی مؤمن شهرستان یاسوج (عرض جغرافیایی "۳۷'۳۰"۰۳۰، طول جغرافیایی "۰۹'۲۵"۵۱ و ارتفاع از سطح دریا ۱۹۶۳ متر) به صورت تصادفی از بین درختان سالم منطقه جمع‌آوری و تا هنگام کاشت در کیسه نایلونی با محفظه کوچکی برای تهویه در شرایط سایه و خنک زیرزمین ساختمان دانشکده منابع طبیعی نگهداری شدند. دو روز قبل از کشت، بذرها با آب شسته شده و ۴۸ بذر (۱۲ تکرار برای هر پیش‌تیمار) به‌طور جداگانه در درون محلول‌هایی شامل نیترات پتاسیم ۰/۵ درصد، اسید سالیسیلیک (SA) ۱۵۰ پی‌پی‌ام، اسید ایندول بوتیریک (IBA) ۱۰۰ پی‌پی‌ام و آب خالص (به‌عنوان شاهد)، به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق خیس‌انده شدند. در طی این مدت به بذرها غوطه‌ور در این محلول‌ها با استفاده از یک دمنده الکتریکی هوارسانی صورت گرفت. انتخاب این غلظت‌ها براساس نتایج آزمایش اولیه که بهترین نتایج جوانه‌زنی و زنده‌مانی را داشت صورت گرفت (Samimi, 2021).

شرایط تولید و نگهداری نهال

کاشت بذرها در دی‌ماه ۱۳۹۸ در فضای باز اطراف مجتمع گلخانه‌ای دانشگاه یاسوج و درون گلدان‌های

کاملاً توسعه یافته، با استفاده از دستگاه فلورومتر قابل حمل الفاکننده پالس اشباع (Optic-) OSI-FL Sciences، ایالات متحده آمریکا) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب در اندام‌های مختلف ریشه، ساقه و برگ با اندازه‌گیری وزن تر، وزن اشباع و وزن خشک و محاسبه نسبت محتوای آب موجود (وزن تر- وزن خشک) به محتوای آب بالقوه (وزن اشباع- وزن خشک) و برحسب درصد به دست آمد. برای بررسی‌های آناتومیکی، بافت‌های مختلف ریشه و ساقه درون محلولی از فرمالدهید، اسید استیک و اتانول نگهداری شدند و در هنگام مطالعه میکروسکوپی با استفاده از تیغ در زیر آب برش‌های عرضی از نمونه تهیه و در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی‌های ۴۰، ۱۰۰ و ۴۰۰ برابر بررسی شد. تصاویر میکروسکوپی تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری و پردازش شد. تراکم اشعه با استفاده از شمارش تعداد اشعه در میلی‌متر، تراکم آوند با استفاده از شمارش تعداد آوند چوبی در واحد سطح (میلی‌متر مربع)، ابعاد آوند به صورت میانگین ده عدد از بزرگ‌ترین آوندها در هر فرد، و ابعاد زخم با استفاده از تصویربرداری از مقاطع مماسی و عرضی و پردازش تصویر به کمک نرم‌افزار ImageJ به دست آمد. پتانسیل آبی ریشه و ساقه در روز با استفاده از دستگاه اتاقل فشار و برحسب MPa- محاسبه شد.

روش تحلیل

به منظور بررسی اثرهای ساده و متقابل پرایمینگ بذر، خشکی و مایه‌زنی بر صفات مختلف فیزیولوژیکی و آناتومیکی نهال‌های یکساله برودار، آزمایشی به صورت چندعامله در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. به طوری که پرایمینگ بذر در چهار سطح (آب، محلول اسید سالیسیلیک ۱۵۰ پی‌پی‌ام، محلول اسید ایندول بوتریک اسید ۱۰۰ پی‌پی‌ام، نیترات پتاسیم ۰/۵ درصد)، رژیم آبیاری در دو سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، و مایه زنی در دو سطح (مایه‌زنی با

شد. گیاهان تیمار شاهد نیز با بلوک PDA استریل بدون قارچ مایه‌زنی و با پارافیلیم بسته شدند (Samimi, 2021).

یک ماه بعد از مایه‌زنی نهال‌ها، در دوم آذرماه ۱۳۹۹ آبیاری در نیمی از نهال‌ها متوقف شد و در نیمی دیگر آبیاری به صورت مستمر هر سه روز یک‌بار انجام گرفت. قبل از شروع تنش، علف‌های هرز گلدان‌ها وجین و وزن گلدان‌ها ثبت شد. ظرفیت زراعی خاک در گلدان‌ها با استفاده از روش وزنی محاسبه شد. برای این منظور وزن گلدان‌ها یک روز پس از آبیاری کامل به عنوان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و وزن گلدان‌ها سه روز پس از خشک شدن در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان صفر درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. در نهایت با پایش وزن گلدان‌هایی که آبیاری در آنها متوقف شده بود، ۴۴ روز بعد از توقف آبیاری (۱۶ دی‌ماه ۱۳۹۹)، محتوای آب خاک به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی رسید (۵۵ میلی‌لیتر آب در یک کیلوگرم خاک) و برداشت نهال‌ها صورت گرفت و صفات رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌ها نیز اندازه‌گیری شد.

صفات اندازه‌گیری شده

وزن تر اندام‌های مختلف با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم ثبت شد. تبادل‌های گازی برگ شامل نرخ خالص فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبدلات گازی مادون قرمز (ADC Bioscientific Ltd, LCA4, UK) در دو روز پایانی برداشت، در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته، بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح در شدت نور بین ۱۱۰۰ تا ۲۷۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و با تصحیح مستقیم مساحت برگ در اتاقل، اندازه‌گیری شد. غلظت کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Konica Minolta) SPAD-502، (ژاپن) با میانگین سه اندازه‌گیری متوالی از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته برآورد شد. عملکرد بهینه فتوسنتز دو، در روز و بر روی جوان‌ترین برگ‌های

محیط کشت و مایه‌زنی با قارچ) در سه تکرار صورت گرفت. داده‌های ثبت شده از نظر وجود نقاط بالقوه پرت با استفاده از باکس پلات بررسی شد. نرمال بودن توزیع پراکندگی داده‌ها با استفاده از آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف آزمون شد و داده‌ها در صورت انحراف از توزیع نرمال با استفاده از تبدیل‌های مناسب نرمال شدند. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین (آزمون تی استیودنت برای مقایسه‌های دوگانه و آزمون دانکن برای مقایسه‌های چندگانه با سطح اطمینان ۹۵ درصد) به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۰۷ رسم شد.

نتایج

اثر پرایمینگ بذر، خشکی و بیماری بر صفات فیزیولوژیکی

نتایج آنالیز واریانس مربوط به اثرهای ساده و متقابل پرایمینگ، خشکی و بیماری بر صفات فیزیولوژیکی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس برای بررسی اثرهای ساده و متقابل پرایمینگ، خشکی و بیماری نشان داد که از بین صفات مرتبط با زی‌توده، تنها وزن تر ریشه نهال‌هایی که تحت رژیم آبی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بودند نسبت به نهال‌هایی که به صورت بهینه آبیاری شده بودند (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) کاهش یافت (جدول ۱، شکل ۱). به‌طور کلی استفاده از مواد شیمیایی مختلف برای پرایمینگ بذر تنها پتانسیل آبی نیمروز ساقه را تحت تأثیر قرار داد، به نحوی که نهال‌های حاصل از بذرهای پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک دارای پتانسیل آبی بیشتری از دیگر تیمارها بودند (شکل ۳). افت رطوبت خاک تا ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بیشتر صفات فیزیولوژیکی نهال‌های یکساله بلوط شامل محتوای نسبی آب ساقه و ریشه، عملکرد بهینه فتوسنتز دو، شاخص

کلروفیل، پتانسیل آبی ساقه و ریشه، تعرق و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد (جدول ۱، شکل ۱). مایه‌زنی نهال‌ها با عامل بیماری‌زای قارچ زغالی بلوط نیز اثرهای مشابهی مانند تنش کمبود آب نشان داد، ولی برخلاف تأثیر رژیم رطوبتی خاک، مایه‌زنی با قارچ محتوای نسبی آب در اندام‌های مختلف را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۱، شکل ۱). اسید سالیسیلیک در شرایط رطوبتی بهینه، هدایت روزنه‌ای را نسبت به نهال‌های شاهد افزایش داد، اما IBA و نیترات پتاسیم هدایت روزنه‌ای نهال‌ها را در شرایط رطوبتی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کاهش دادند (جدول ۱، شکل ۳). پتانسیل آبی ریشه در نهال‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک در نهال‌های بیمار کمتر از نهال‌های سالم بود، اما مقدار آن در نهال‌های پرایم‌شده با IBA و نیترات پتاسیم تفاوتی با نهال‌های سالم نداشت (جدول ۱، شکل ۳).

شاخص کلروفیل (SPAD) در نهال‌های پرایم‌شده با IBA بین نهال‌های سالم و بیمار متفاوت بود، اما تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص کلروفیل بین نهال‌های سالم و آلوده در دیگر تیمارهای پرایمینگ بذر مشاهده نشد (جدول ۱، شکل ۳). محتوای نسبی آب ساقه در نهال‌های سالم تحت رژیم آبیاری بهینه بیشتر از نهال‌های سالم تحت تنش کم‌آبی است، اما محتوای نسبی آب ساقه در نهال‌های آلوده در هر حال اندک است (جدول ۱، شکل ۲). غلظت کلروفیل در نهال‌های آلوده به قارچ زغالی بلوط در شرایط بروز تنش خشکی کاهش می‌یابد، اما نهال‌های سالم برودار قادر به حفظ محتوای کلروفیل خود در شرایط تنش کمبود آب اعمال شده بودند (جدول ۱، شکل ۲). هدایت روزنه‌ای هم در اثر تنش کمبود آب و هم در اثر بیماری زغالی کاهش می‌یابد، اما در نهال‌های آلوده تحت تنش خشکی، افت هدایت روزنه‌ای برگ تشدید می‌شود (جدول ۱، شکل ۲).

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس اثرهای ساده و متقابل پرایمینگ، خشکی و بیماری بر صفات فیزیولوژی نهال‌های یکساله برودار
Table 1. Results of the analysis of variance of the main and interaction effects of priming, drought and disease on physiologic traits of one-year-old seedlings of brant's oak

خطا (Error)	پرایمینگ×خشکی×بیماری (Priming×Drought×Disease)	خشکی×بیماری (Drought×Disease)	پرایمینگ×بیماری (Priming×Disease)	پرایمینگ×خشکی (Priming×Drought)	بیماری (Disease)	خشکی (Drought)	پرایمینگ (Priming)	نام صفت (Trait)
0.106	0.018	0.078	0.018	0.073	0.003	0.426	0.049	وزن تر برگ (L-FW)
0.136	0.019	0.010	0.012	0.033	0.059	0.217	0.084	وزن تر ساقه (S-FW)
0.060	0.038	0.010	0.037	0.050	0.018	0.641**	0.087	وزن تر ریشه (R-FW)
0.069	0.001	0.004	0.001	0.042	0.177	0.008	0.057	محتوای نسبی آب برگ (L-RWC)
0.001	0.003	0.006*	0.001	0.001	0.002	0.014**	0.001	محتوای نسبی آب ساقه (S-RWC)
0.008	0.002	0.014	0.007	0.001	0.001	0.323***	0.001	محتوای نسبی آب ریشه (R-RWC)
0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005*	0.051***	0.002	عملکرد بهینه فتوسنتز دو (ΦPSII)
44	14	284*	178*	90	406*	1156***	77	شاخص کلروفیل (SPAD)
0.110	0.277	0.045	0.232	0.096	0.567*	12.32***	0.362*	پتانسیل آبی نیمروز ساقه (S-Ψmd)
0.130	0.267	0.003	0.41*	0.056	1.25**	13.25***	0.191	پتانسیل آبی نیمروز ریشه (R-Ψmd)
0.856	1.313	2.433	0.930	0.546	0.939	0.030	0.311	نرخ خالص فتوسنتز (A)
0.008	0.002	0.000	0.009	0.001	0.059*	0.077**	0.011	تعرق (E)
0.00003	0.000	0.001*	0.000	0.001*	0.021***	0.009***	0.000	هدایت روزنه‌های (gs)

یک، دو و سه ستاره به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری واریانس با حدود اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۹/۹ درصد است. ستاره‌دار نبودن به معنای نبود اثر معنی‌دار است. درجه آزادی پرایمینگ ۳، خشکی ۱، بیماری ۱، پرایمینگ در خشکی ۳، خشکی در بیماری ۳، پرایمینگ در خشکی ۳، پرایمینگ در خشکی ۳ و درجه آزادی خطای آزمایش ۳۱ است.

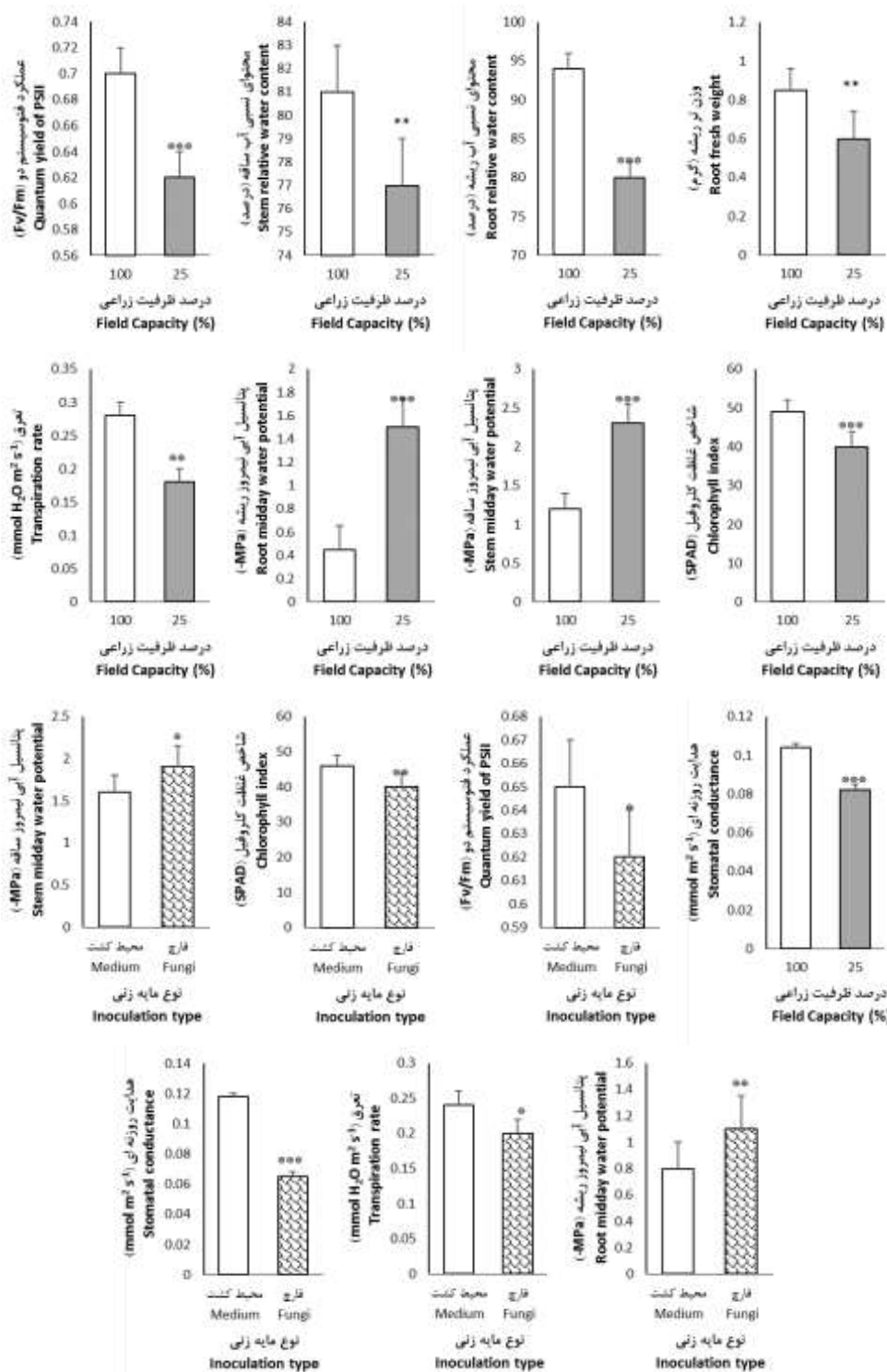
One, Two and three stars indicate variance significant at 95, 99 and 99.9 percent of confidence level, respectively. Lack of star indicates non-significant result. The degree of freedom for different sources of variance are as follow: priming 3, drought 1, disease 1, priming by drought 3, priming by disease 3, drought by disease 1, priming by drought by disease 3, and experimental error 31.

Abbreviations: L: Leaf, S: Stem, R: Root, FW: Fresh weight, RWC: Relative water content, ΦPSII: Quantum yield of photosystem II, SPAD: Chlorophyll index, Ψmd: Midday water potential, A: Net assimilation rate, E: transpiration rate, gs: Stomatal conductance.

توسعه زخم نکروتیک ناشی از کلونیزه شدن قارچ زغالی بلوط تفاوت معنی‌داری با نهال‌های شاهد نداشت (جدول ۲، شکل ۵). مایه‌زنی با عامل قارچ زغالی بلوط زخم نکروتیک با ابعاد بسیار بزرگی را در مقایسه با نهال‌های مایه‌زنی شده با محیط کشت استریل نشان داد (جدول ۲، شکل ۴). نهال‌های حاصل از بذره‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک در شرایط کم‌آبی از تراکم اشعه بیشتری نسبت به نهال‌های شاهد برخوردار بودند (جدول ۲، شکل ۵). در شکل ۶ قارچ تکثیر یافته در محیط کشت، نهال مایه‌زنی شده و برش عرضی از محل مایه‌زنی شده نشان داده شده است.

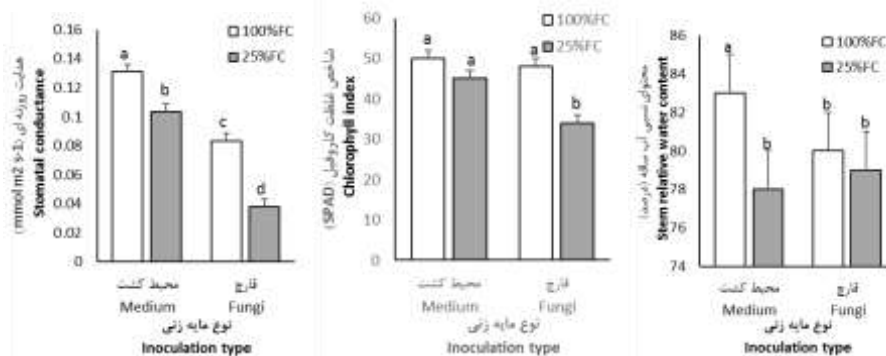
اثر پرایمینگ بذری، خشکی و بیماری بر صفات آناتومیکی

نتایج آنالیز واریانس مربوط به اثرهای ساده و متقابل پرایمینگ، خشکی و بیماری بر صفات آناتومیکی در جدول ۲ نشان داده شده است. مساحت، پهنای و عمق زخم نکروتیک در نهال‌های حاصل از بذره‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک کمتر از نهال‌های شاهد بود. در مورد نهال‌های حاصل از بذره‌های پرایم‌شده با IBA تنها توسعه زخم نکروتیک در جهات مماسی (پهنای) و شعاعی (عمق) محدود شد و در نهال‌های حاصل از بذره‌های پرایم‌شده با نیترات پتاسیم



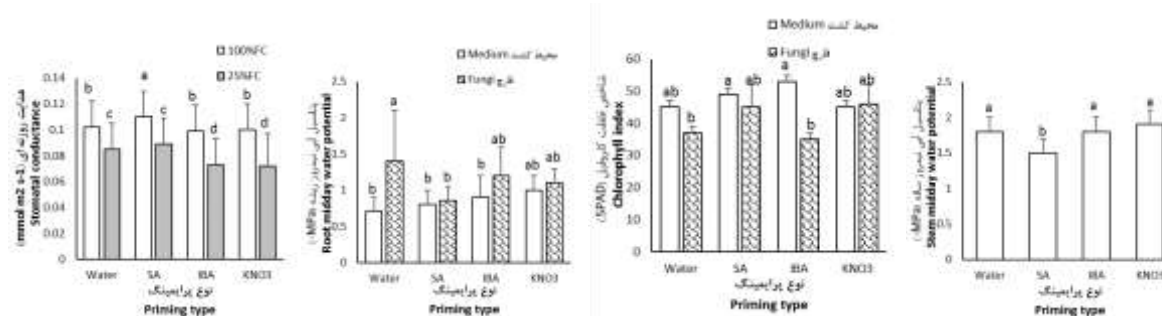
شکل ۱- میانگین صفات فیزیولوژیکی نهال‌های یکساله برودار در ظرفیت‌های زراعی و مایه‌زنی‌های مختلف. معنی‌داری با حدود اطمینان ۹۹،۹۵ و ۹۹/۹ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره نشان داده شده است. بار نشان‌دهنده یک انحراف معیار از میانگین است

Figure 1. The average of physiological traits of one-year-old brant's oak seedlings in different field capacity and inoculation levels. The significance of variance at 95, 99 and 99.9 percent confidence level are indicated by one, two and three stars, respectively. Bar represents one standard deviation from the mean



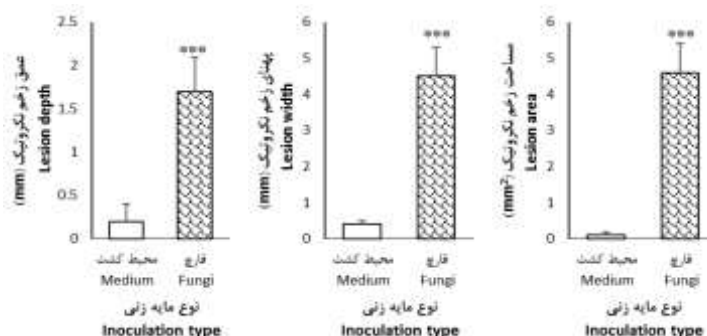
شکل ۲- میانگین صفات فیزیولوژیکی نهال‌های یکساله برودار برای اثرهای متقابل دوگانه بین ظرفیت‌های زراعی و مایه‌زنی‌های مختلف. حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار با حدود اطمینان ۹۵ درصد است. بار نشان‌دهنده یک انحراف معیار از میانگین است

Figure 2. The average of physiological traits of one-year-old brant's oak seedlings for two-ways interaction levels between field capacity and inoculation. Different letters are indicated for significant difference at 95 percent confidence level. Bar represents one standard deviation from the mean



شکل ۳- میانگین صفات فیزیولوژیکی نهال‌های یکساله برودار برای اثر ساده پرایمینگ، و اثرهای متقابل دوگانه بین انواع پرایمینگ و مایه‌زنی‌های مختلف و اثرهای متقابل دوگانه بین انواع پرایمینگ و ظرفیت‌های زراعی مختلف. حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار با حدود اطمینان ۹۵ درصد است. بار نشان‌دهنده یک انحراف معیار از میانگین است

Figure 3. The average of physiological traits of one-year-old brant's oak seedlings for two-ways interaction levels between priming and inoculation, as well as priming and field capacity. Different letters are indicated for significant difference at 95 percent confidence level. Bar represents one standard deviation from the mean



شکل ۴- میانگین صفات آناتومیکی نهال‌های یکساله برودار در مایه‌زنی‌های مختلف. معنی‌داری با حدود اطمینان ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره نشان داده شده است. بار نشان‌دهنده یک انحراف معیار از میانگین است

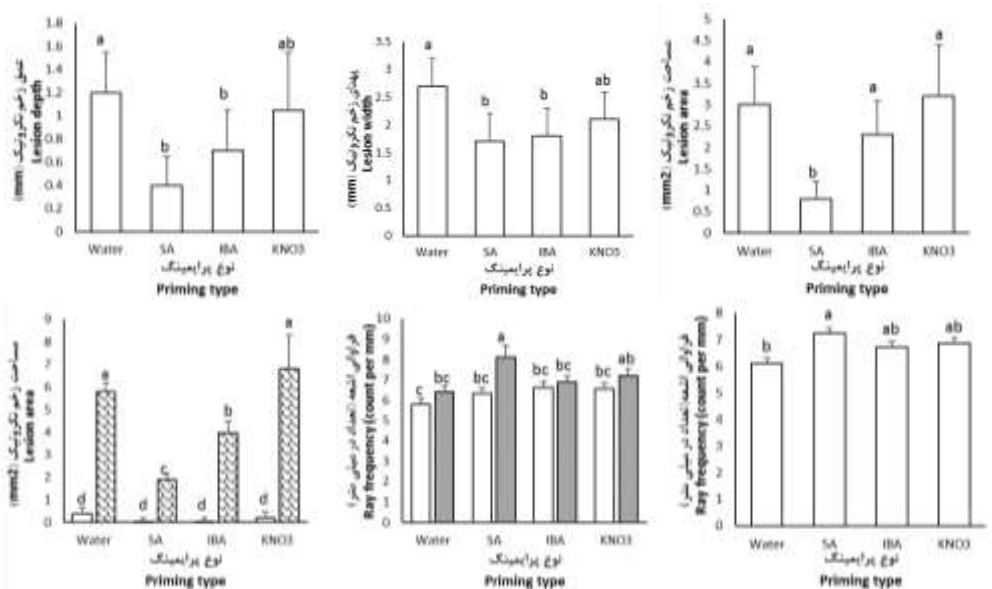
Figure 4. The average of anatomic traits of one-year-old brant's oak seedlings in different inoculation levels. The significance of variance at 95, 99 and 99.9 percent confidence level are indicated by one, two and three stars, respectively. Bar represents one standard deviation from the mean

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس اثرهای ساده و متقابل پرایمینگ، خشکی و بیماری بر صفات آناتومیکی نهال‌های یکساله برودار
Table 2. Results of the analysis of variance of the main and interaction effects of priming, drought and disease on anatomic traits of one-year-old seedlings of brant's oak

خطا (Error)	پرایمینگ×خشکی×بیماری (Priming×Drought×Disease)	خشکی×بیماری (Drought×Disease)	پرایمینگ×بیماری (Priming×Disease)	پرایمینگ×خشکی (Priming×Drought)	بیماری (Disease)	خشکی (Drought)	پرایمینگ (Priming)	نام صفت (Trait)
0.033	0.013	0.105	0.217**	0.038	3.590***	0.074	0.184**	مساحت نکروز (Lesion area)
0.704	0.169	1.178	1.399	0.447	108***	0.540	2.224*	پهنای زخم (Lesion width)
0.502	0.302	1.004	0.980	0.240	84***	0.536	1.815*	عمق زخم (Lesion depth)
0.906	1.144	0.019	1.108	3.000*	0.211	2.832	2.626	فراوانی اشعه (Ray frequency)
468	32	136	109	108	18	123	371	مساحت آوند (Vessel area)
0.035	0.055	0.055	0.017	0.009	0.004	0.007	0.027	فراوانی آوند (Vessel frequency)
0.031	0.006	0.012	0.002	0.014	0.001	0.001	0.043	مساحت نسبی آوند (Relative vessel area)

یک، دو و سه ستاره به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری واریانس با حدود اطمینان ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد است. ستاره‌دار نبودن به معنای نبود اثر معنی‌دار است. درجه آزادی پرایمینگ ۳، خشکی ۱، بیماری ۱، پرایمینگ در خشکی ۳، خشکی در بیماری ۱، پرایمینگ در خشکی در بیماری ۳ و درجه آزادی خطای آزمایش ۳۱ است.

One, Two and three stars indicate variance significant at 95, 99 and 99.9 percent of confidence level, respectively. Lack of star indicates non-significant result. The degree of freedom for different sources of variance are as follow: priming 3, drought 1, disease 1, priming by drought 3, priming by disease 3, drought by disease 1, priming by drought by disease 3, and experimental error 31.



شکل ۵- میانگین صفات آناتومیکی نهال‌های یکساله برودار برای اثر ساده پرایمینگ، اثرهای متقابل دوگانه بین انواع پرایمینگ و مایه‌زنی‌های مختلف، و اثر متقابل دوگانه بین انواع پرایمینگ و ظرفیت‌های زراعی مختلف. حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار با حدود اطمینان ۹۵ درصد است. بار نشان‌دهنده یک انحراف معیار از میانگین است

Figure 5. The average of physiological traits of one-year-old brant's oak seedlings for main effect of priming and two-ways interaction levels between priming and inoculation, as well as priming and field capacity. Different letters are indicated for significant difference at 95 percent confidence level. Bar represents one standard deviation from the mean



شکل ۶- الف) پرگنه قارچ *Biscogniauxia mediterranea* تکثیر یافته در محیط کشت PDA، ب) نهال مایه‌زنی شده با قارچ، و ج) برش عرضی از ساقه نهال آلوده به قارچ که در آن آوندهای مسدود شده با مسیلیوم قارچ مشاهده می‌شود
Figure 6. A) The colony growth of *Biscogniauxia mediterranea* on PDA culture, B) The inoculated seedling with fungi, C) The stem transvers section of inoculated plant by blocked vessels with fungi mycelium

بحث

دوره‌های تناوب نوری دارند، به نظر می‌رسد نبود اختلاف معنی‌دار در افت عملکرد فتوسنتز به دلیل شروع فرایند سختواره شدن باشد.

مایه‌زنی نهال‌های بلوط با قارچ زغالی بلوط موجب ایجاد و گسترش زخم نکروتیک در جهات مختلف طولی، مماسی و شعاعی در محل تلقیح شد و عملکرد فتوسیستم دو، شاخص کلروفیل، تعرق، هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آبی ریشه و ساقه را کاهش داد، اما تغییری در وزن تر، محتوای نسبی آب، نرخ خالص فتوسنتز، ابعاد آوند چوبی، و تراکم اشعه ایجاد نکرد. در مجموع نشانه‌های بیماری ظاهر شده در نهال‌ها مشابه تنش خشکی بود، با این تفاوت عمده که با وجود افت پتانسیل آبی و کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در نهال‌های بیمار، محتوای نسبی آب در بافت‌های مختلف آنها تحت تأثیر قرار نگرفت. توان بیماری‌زایی قارچ *Biscogniauxia mediterranea* در گونه برودار پیش از این در پژوهش‌های مختلف بررسی و واکنش‌های فیزیولوژیکی مشابهی مشاهده شد (Ghanbary et al., 2017)، اما همچنان که پیش از این نیز بیان شد، ویژگی‌های رویشی نهال‌ها به دلیل شروع تنش‌ها از اواخر دوره رویش تحت تأثیر قرار نگرفت. با وجود این، نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ زغالی بلوط در اواخر فصل رشد نیز همچنان توان بیماری‌زایی زیادی در نهال‌های برودار دارد. در پژوهش‌های مختلف ثابت شده است که اسید

تنش خشکی اعمال شده موجب کاهش وزن تر ریشه، محتوای نسبی آب ساقه و ریشه، کاهش عملکرد فتوسیستم دو و شاخص کلروفیل، کاهش پتانسیل آبی ریشه و ساقه و کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در نهال‌های یکساله بلوط شد. اما تغییری در وزن تر برگ و ساقه، محتوای نسبی آب برگ، نرخ خالص فتوسنتز، ابعاد آوند چوبی و تراکم اشعه ایجاد نکرد. قطع آبیاری گلدان‌ها برای مدت شش هفته محتوای آب خاک را تا ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کاهش داد که می‌تواند تنش کمبود آب به نسبت شدیدی برای گیاهان محسوب شود. واکنش نهال‌های برودار به کمبود آب خاک در پژوهش‌های مختلفی بررسی شده که نشان می‌دهد در تنش‌های شدید و حتی متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) همه عملکردهای رویشی و فیزیولوژیکی یادشده در نهال‌های برودار کاهش می‌یابند (Jafarnia et al., 2018)، اما برخلاف دیگر پژوهش‌ها، بیشتر ویژگی‌های رویشی و برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی (مانند نرخ خالص فتوسنتز) در نهال‌های بلوط در این تحقیق تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. با توجه به اینکه در این تحقیق شروع تنش خشکی در نهال‌ها در اواخر دوره رشد انجام گرفت، تنش اعمال شده تأثیری بر ویژگی‌های رویشی نهال‌ها نداشت. همچنین با توجه به درکی که گیاهان از محیط اطراف از طریق

در این تحقیق پتانسیل آبی ساقه و ریشه در نهال‌های آلوده به قارچ زغالی بلوط کاهش یافت. کلونیزه شدن میسلیم قارچ در درون آوندهای چوبی می‌تواند موجب مسدود کردن آوندها و کاهش پتانسیل آبی شود. نتایج بررسی‌های بافت‌شناسی در این تحقیق نشان داد که بخشی از آوندها در نهال‌های مایه‌زنی شده با قارچ، کاملاً با میسلیم قارچ مسدود شده‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هرچه مقدار رشد قارچ‌ها در جهت‌های عرضی (مماسی و شعاعی) بافت هدایت‌کننده بیشتر باشد، مقاومت شدیدتری در هدایت هیدرولیکی آن ناحیه ایجاد خواهد شد (Zwart & Kim, 2012). با توجه به اینکه توسعه عرضی زخم در نهال‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک در مقایسه با نهال‌های شاهد، محدود به بریدگی اولیه ایجادشده برای مایه‌زنی قارچ بود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که یکی دیگر از دلایل بیشتر بودن پتانسیل آبی ساقه و ریشه در نهال‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک آلوده به قارچ نسبت به نهال‌های شاهد آلوده، فراوانی کمتر آوندهای مسدودشده در اثر تکثیر قارچ باشد.

هر دو تنش اعمال‌شده در این تحقیق موجب کاهش عملکرد فتوسنتز دو در نهال‌های برودار شدند، اما هیچ یک از محلول‌های شیمیایی استفاده‌شده در پرایمینگ بذرها کمکی به حفظ عملکرد فتوسنتز در نهال‌های حاصل نکرد. هرچند برخی از محققان تأثیر مثبت پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک را بر عملکرد فتوسنتز دو در شرایط تنش گزارش کرده‌اند (Abbasvand et al., 2019)، گزارش‌هایی نیز از بی‌تأثیر بودن اسید سالیسیلیک بر عملکرد فتوسنتز دو ارائه شده است (Attarzadeh et al., 2015). از دلایل اصلی گزارش‌شده برای کاهش عملکرد فتوسنتز دو تحت تنش‌های محیطی اختلال در زنجیره انتقال الکترون از طریق آسیب به مولکول‌های مستقر در این مسیر است. این امر خود می‌تواند موجب افزایش تولید رادیکال‌های آزاد شود

سالیسیلیک از طریق افزایش اسمولیت‌ها، ارتقای سیستم آنتی‌اکسیدانی و حفظ پتانسیل آبی در بافت‌ها، مقاومت گیاهان را در برابر تنش خشکی افزایش می‌دهد (Farooq et al., 2009) و همچنین با تجمع فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی در سلول‌های پارانشیمی گیاه موجب محدودیت رشد و توسعه میسلیم‌های قارچی می‌شود (Dihazi et al., 2011). به‌طور کلی، پرایمینگ بذرهای بلوط با محلول اسید سالیسیلیک ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۴۸ ساعت، نهال‌های مقاوم‌تری در برابر خشکی و قارچ زغالی بلوط تولید کرد، به‌نحوی که از نظر مقاومت به خشکی، ریشه و ساقه نهال‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک در شرایط کم‌آبی دارای پتانسیل آبی بیشتری در مقایسه با دیگر نهال‌ها بودند. با توجه به تأثیر نداشتن پرایمینگ بذر بر محتوای نسبی آب، و فراوانی و ابعاد آوندها که در روابط آبی گیاه مؤثرند، به‌نظر می‌رسد که برتری نهال‌های حاصل از پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک به‌دلیل تراکم بیشتر اشعه باشد. سلول‌های پارانشیمی اشعه، جریان شعاعی آب را از پوست به چوب فراهم می‌کنند و در نتیجه در نهال‌هایی که فراوانی اشعه بیشتری دارند، کاهش محتوای نسبی آب ساقه ناشی از تنش خشکی یا بیماری، کمتر موجب کاهش آب درون آوندها می‌شود (Zweifel et al., 2000). از این‌رو با وجود کاهش محتوای نسبی آب ساقه در شرایط تنش خشکی و بیماری، پتانسیل آبی ساقه نهال‌های پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک بیشتر از دیگر نهال‌ها بود. همچنین از نظر مقاومت به قارچ زغالی بلوط، پرایمینگ بذرها با اسید سالیسیلیک موجب جلوگیری کامل از توسعه زخم نکروتیک ناشی از مایه‌زنی با قارچ زغالی بلوط در نهال‌های یکساله حاصل شد. در تحقیقی گزارش شد که تیمار اسید سالیسیلیک موجب تجمع فلاونوئیدها و دیگر ترکیبات فنلی و نیز ایزومرهای جدیدی از پراکسیداز در سلول‌های پارانشیمی و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا در گیاه می‌شود (Dihazi et al., 2011).

از سوی دیگر کارامدی این فیتوهورمون در بهبود شرایط فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط بهینه، مشابه تأثیر اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Amin et al., 2007; Bideshki et al., 2013).

نیتراپتاسیم یکی دیگر از مواد شیمیایی دارای کاربرد در پرایمینگ بذرهاست که در منابع مختلف اثرهای مثبت آن در شاخص‌های جوانه‌زنی بذرها (Lara et al., 2014)، عملکرد رویشی و فتوسنتزی در دانه‌رست‌ها (Moaaz Ali et al., 2020)، و کنترل تنش‌های محیطی مانند شوری (Zavariyan et al., 2015) و خشکی (Shafiq et al., 2015) نشان داده شده است. اما در این تحقیق نهال‌های بلوط تولیدشده با استفاده از بذره‌های پرایم‌شده با نیتراپتاسیم، عملکرد متمایزی نسبت به نهال‌های شاهد نداشتند و هیچ مزیتی در شرایط تنش خشکی یا در مواجهه با قارچ زغالی بلوط نشان ندادند. پیش از این، اثرهای مثبت پرایمینگ بذر بلوط بلندمازو با نیتراپتاسیم در افزایش عملکرد رویشی دانه‌رست‌ها در ماه اول رشد گزارش شده بود (Hadinezhad et al., 2013). علت این تفاوت صرف نظر از تفاوت بودن گونه‌های مورد پژوهش، ممکن است به دلیل اختلاف سن نهال‌ها در زمان بررسی عملکرد رویشی آن‌ها باشد. به‌طوری که اثرهای مثبت احتمالی پرایمینگ بذره‌های بلوط با نیتراپتاسیم در روزهای ابتدایی جوانه‌زنی به مرور زمان از میان رفته باشد و از این نظر تأثیر معنی‌داری در نهال‌های یکساله برودار مشاهده نشده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که خیساندن بذره‌های بلوط با محلول اسید سالیسیلیک می‌تواند نقش مؤثری در کنترل تنش خشکی و بیماری زغالی بلوط در نهال‌های برودار در سال اول استقرار داشته باشد. استفاده مستقیم از نتایج این تحقیق می‌تواند کارایی بذرداری در عملیات احیا و توسعه جنگل را افزایش دهد. با توجه به اثر شایان توجه کاربرد اسید سالیسیلیک در ارتقای مقاومت سیستمیک اکتسابی گیاهان، راهکارهای مختلفی برای افزایش محتوای

(Pospíšil, 2009). رادیکال‌های آزاد در مقادیر کم می‌توانند به‌عنوان پیام‌رسان عمل کنند و موجب فعال شدن سازوکارهای دفاعی شوند. با توجه به اینکه هیچ‌گونه آسیب غشایی در بافت نهال‌های بلوط مورد پژوهش مشاهده نشد، به نظر می‌رسد که شدت تنش اکسیداتیو در نهال‌ها به‌حدی نرسیده که آسیب گسترده‌ای در بافت‌های زنده گیاه ایجاد کند و احتمالاً نقش مؤثری در اظهار ژن‌های مقاومت خواهد داشت.

اثرهای مثبت استفاده از فیتوهورمون‌هایی مانند اسید ایندول بوتریک در کنترل تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، فلزات سنگین و کنترل بیماری‌های قارچی در گیاهان در پژوهش‌های متعددی نشان داده شده است. بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر (Ghodrat et al., 2012)، افزایش عملکرد رویشی، بهبود محتوای نسبی آب، و افزایش فتوسنتز (Santos et al., 2019)، تجمع اکسید نیتروژن در ریشه، و افزایش سیستم‌های پاداکسیدانی مانند گلوکوتاسیون پراکسیداز در ریشه (Demecsova et al., 2020) از اثرهای مثبت استفاده از اسید ایندول بوتریک در گیاهان است. در تحقیق حاضر پرایمینگ بذر برودار با استفاده از اسید ایندول بوتریک موجب تولید نهال‌های به‌نسبت مقاومی در برابر قارچ زغالی بلوط شد، اما اثرهای آن در مجموع کمتر از اسید سالیسیلیک بود؛ به‌نحوی که در مهار توسعه شعاعی زخم نکروتیک مشابه اسید استیک عمل کرد، اما در مجموع مساحت زخم نکروتیک در مقایسه با نهال‌های پرایم‌نشده تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین نهال‌های حاصل از بذره‌های پرایم‌شده با این هورمون در شرایط رطوبتی بهینه، محتوای کلروفیل بهتری داشتند، اما اثر فیزیولوژیک مثبتی در نهال‌های پرایم‌شده با اسید ایندول بوتریک تحت تنش خشکی مشاهده نشد. همراستا با نتایج این تحقیق، برخی گزارش‌ها حاکی از ناکارامدی اسید ایندول بوتریک در مقایسه با اسید سالیسیلیک برای مقابله با تنش خشکی در گیاهان هستند (Bideshki et al., 2013).

رسیدن به چنین هدفی، استقرار موفق نهال‌ها در سال اول رشد نیز به تنهایی می‌تواند حائز اهمیت باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است. از دانشگاه یاسوج به دلیل حمایت مالی از این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

اسید سالیسیلیک در گیاهان پیشنهاد شده است، از جمله استفاده از ژنوتیپ‌های برتر (Chen et al., 2009) و اصلاح ریزوسفر با استفاده از باکتری‌های همزیست (Forchetti et al., 2010). در چنین شرایطی امکان دستیابی به پایه‌های مقاوم میسر خواهد شد و مقاومت ایجادشده تنها محدود به سال‌های ابتدایی رشد نخواهد بود. اما صرف نظر از

References

- Abbasvand, E., Hassannejad, S., Zehtab Salmasi, S., & Alizadeh Salteh, S. (2019). Effects of seed priming with salicylic acid on chlorophyll a fluorescence parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.) infested by field dodder (*Cuscuta campestris* Yunk.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 9(2), 11-18. <https://dx.doi.org/10.22034/jppb.2019.10440>
- Ádám, A.L., Nagy, Z.Á., Kátay, G., Mergenthaler, E., & Viczián, O. (2018). Signals of systemic immunity in plants: progress and open questions. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 1146. <https://doi.org/10.3390/ijms19041146>
- Amin, A.A., Rashad, M., & El-Abagy, H.M.H. (2007). Physiological effect of indole-3-butyric acid and salicylic acid on growth, yield and chemical constituents of onion plants. *Journal of Applied Science Research*, 3(11), 1554-1563.
- Attarzadeh, M., Torabi, B., & Madah Hossieni, Sh. (2015). The interaction effect of salicylic acid and high temperature stress on some physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 718 -726. <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.24285>. (in Persian)
- Bideshki, A., Arvin, M.J., & Darini, M. (2013). Interactive effects of Indole-3-butyric acid (IBA) and salicylic acid (SA) on growth parameters, bulb yield and allicin contents of garlic (*Allium sativum*) under drought stress in field. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(2), 271-279. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.2974>. (in Persian)
- Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z., & Fan, B. (2009). Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 4(6), 493-496. <https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8392>
- Demecsová, L., Zelinová, V., Liptáková, L., Valentovičová, K., & Tamás, L. (2020). Indole-3-butyric acid priming reduced cadmium toxicity in barley root tip via NO generation and enhanced glutathione peroxidase activity. *Planta*, 252(3), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03451-w>
- Dihazi, A., Serghini, M.A., Jaiti, F., Daayf, F., Driouich, A., Dihazi, H., & El Hadrami, I. (2011). Structural and biochemical changes in salicylic-acid-treated date palm roots challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. albedinis. *Journal of pathogens*, 2011, 1-9. <https://doi.org/10.4061/2011/280481>
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Ahmad, N., & Saleem, B.A. (2009). Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 237-246. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x>
- Forchetti, G., Masciarelli, O., Izaguirre, M.J., Alemano, S., Alvarez, D., & Abdala, G. (2010). Endophytic bacteria improve seedling growth of sunflower under water stress, produce salicylic acid, and inhibit growth of pathogenic fungi. *Current microbiology*, 61(6), 485-493. <https://doi.org/10.1007/s00284-010-9642-1>
- Ghafoor, F., Liaqat, S., & Iqbal, W. (2020). The Hormonal Seed Priming in Relation to Carrot Germination. *Journal La Lifesci*, 1(6), 1-5. <https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v1i6.261>
- Ghanbary, E., Tabari Kouchaksaraei, M., Mirabolfathy, M., Modarres Sanavi, S.A.M., & Rahaie, M. (2017). Growth and physiological responses of *Quercus brantii* seedlings inoculated with

Biscogniauxia mediterranea and *Obolarina persica* under drought stress. *Forest Pathology*, 47(5), e12353. <https://doi.org/10.1111/efp.12353>

Ghodrat, V., Rousta, M.J., & Tadaion, M.S. (2012). Effect of priming with indole-butyric acid (IBA) on germination and growth of wheat under saline conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(6), 289-292 (in Persian).

Hadinezhad, P., Payamenur, V., Mohamadi, J., & Ghaderifar, F. (2013). The effect of priming on seed germination and seedling growth in *Quercus castaneifolia*. *Seed Science and Technology*, 41(1), 121-124. <https://doi.org/10.15258/sst.2013.41.1.11>

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. <https://doi.org/10.3832/ifor2496-010>

Karimi, Z., Zolfaghari, R., Fayyaz, P., & Rahimian, J. (2021). Assessment of genetic structure in healthy and declined population of *Quercus brantii* Lindl. using EST-SSR and ISSR markers. *Iranian Journal of Forest*, 13(3), 305-317. <https://doi.org/10.22034/ijf.2021.284198.1780>. (in Persian)

Khodami, Zh., Pir-Bavaghar M., & Ghazanfari, H. (2021). The effect of sanitation cutting treatment on the spectral signature pattern of oak decline forests. *Iranian Journal of Forest*, 13(1), 31-42 (in Persian). <https://doi.org/10.22034/ijf.2021.132135>

Lara, T.S., Lira, J.M.S., Rodrigues, A.C., Rakocevi, M., & Alvarenga, A.A. (2014). Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *Journal of Agricultural Science*, 6(2), 72. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n2p72>

Mauromicale, G., & Cavallaro, V. (1995). Effects of seed osmopriming on germination of tomato at different water potential. *Seed Science and Technology*, 23, 393-403. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100407>

Mir Abolfathi, M. (2013). Outbreak of charcoal disease on *Quercus* spp and *Zelkova carpinifolia* trees in forests of Zagros and Alborz mountains in Iran. *Iranian journal of plant pathology*, 49(2), 257-263 (in Persian).

Moaz Ali, M., Javed, T., Mauro, R.P., Shabbir, R., Afzal, I., & Yousef, A.F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, 10(11), 498. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10110498>

Omidi, H., Soroushzadeh, A., Salehi, A., & Ghezeli, F.A.D. (2005). Rapeseed germination as affected by osmopriming pretreatment. *Agricultural Science and technology*, 19(2), 125-136 (in Persian).

Osama, S., El Sherei, M., Al-Mahdy, D.A., Bishr, M., & Salama, O. (2019). Effect of salicylic acid foliar spraying on growth parameters, γ -pyrones, phenolic content and radical scavenging activity of drought stressed *Ammi visnaga* L. plant. *Industrial Crops and Products*, 134, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.035>

Pospíšil, P. (2009). Production of reactive oxygen species by photosystem II. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1787(10), 1151-1160. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01950>

Salmani, A., Poursaeed A.R., Bayramzade V., & Eshragi-Samani R. (2021). Explaining the criteria and indicators of sustainable management of forests in Zagros basin from the point of view of forest specialists and experts. *Iranian Journal of Forest*, 13(1), 43-58. <https://doi.org/10.22034/ijf.2021.132136>. (in Persian)

Santos, R.K.A., Cairo, P.A.R., Barbosa, R.P., Lacerda, J.D.J., Mafra, C.D.S., & Macedo, T.H.D.J. (2019). Physiological responses of *Eucalyptus urophylla* young plants treated with biostimulant under water deficit. *Ciência Florestal*, 29, 1072-1081. <https://doi.org/10.5902/1980509826206>

- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2), 157-161. <https://doi.org/10.1023/A:1006386800974>
- Shafiq, F., Batool, H., Raza, S.H., & Hameed, M. (2015). Effect of potassium nitrate seed priming on allometry of drought-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of crop science and biotechnology*, 18(3), 195-204. <https://doi.org/10.1007/s12892-015-0035-7>
- Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M., & Pieterse, C.M.J. (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 36(1), 453-483. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>
- Vannini, A., Lucero, G., Anselmi, N., & Vettraino, A.M. (2009). Response of endophytic *Biscogniauxia mediterranea* to variation in leaf water potential of *Quercus cerris*. *Forest Pathology*, 39(1), 8-14. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2008.00554.x>
- Zavariyan, A.M., Rad, M.Y., & Asghari, M. (2015). Effect of seed priming by potassium nitrate on germination and biochemical indices in *Silybum marianum* L. under salinity stress. *Seed Research*, 5(2), 40-48. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520961.1394.5.15.5.4>. (in Persian)
- Zolfaghari, R., Fayyaz, P., Nazari, M., & Valladares, F. (2013). Interactive effects of seed size and drought stress on growth and allocation of *Quercus brantii* Lindl. seedlings from two provenances. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(3), 361-368. <http://dx.doi.org/10.3906/tar-1206-54>
- Zwart, D.C., & Kim, S.H. (2012). Biochar amendment increases resistance to stem lesions caused by *Phytophthora* spp. in tree seedlings. *HortScience*, 47(12), 1736-1740. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.12.1736>
- Zweifel, R., Item, H., & Häsler, R. (2000). Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees*, 15(1), 50-57. <https://doi.org/10.1007/s004680000072>



Research Article

Resistance induction to drought and charcoal disease in brant's oak seedling by seed priming

P. Samimi¹, P. Fayyaz^{2*}, F. Ghaderi³, and R. Zolfaghari²

¹M.Sc. Student of Forest Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Yasouj, Yasuj, I.R. Iran

²Associate Prof., Dept. of Forest Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Yasouj, Yasuj, I.R. Iran

³Assistant Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Yasouj, Yasuj, I.R. Iran

⁴Associate Prof., Dept. of Forest Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Yasouj, Yasuj, I.R. Iran

(Received: 9 February 2022; Accepted: 3 September 2022)

Abstract

This study investigates the use of seed priming with different materials to induce resistance to charcoal disease and drought in the first year of growth of brant's oak. The seeds were soaked in solutions of salicylic acid, indole butyric acid, and potassium nitrate with three different concentrations, and the seedlings were tested for resistance to oak charcoal and drought. Both water deficit treatment (25 percent field capacity) and inoculation with the pathogenic fungus (*Biscogniauxia mediterranea*) declined photosystem performance, chlorophyll index, water potential, transpiration, and stomatal conductance in brant's oak seedlings. The results show that priming of seeds with 150 ppm salicylic acid had the greatest effect on limiting stem lesion in the resulting seedlings and maintained the root potential of the root and stem under conditions of moisture stress. Priming with 100 ppm indole butyric acid showed similar effects in limiting the lesion but showed weaker effects than salicylic acid on plant water relationships and the abundance of ray parenchyma cells. Potassium nitrate (0.5 percent) had no effect on disease resistance and did not alter plant water relations. Overall, the study suggests that seed priming with salicylic acid plays an effective role in inducing systemic resistance of seedlings to charcoal disease and drought in the first year. The findings of this study can offer new insights to achieve improved seedlings.

Keywords: Indole butyric acid, Salicylic acid, Oak charcoal disease, Water deficit, Potassium nitrate.