آماده انتشار

اثر منشأ رویشگاهی بر رشد درختان پده با بهره‌گیری از تحلیل‌های خوشه‌بندی و رگرسیون

چکیده

سابقه و هدف: شناسایی رویشگاه‌های مناسب پده با توان رویشی بالا و قوی برای قلمه‌گیری و تکثیر قلمه و توسعه کشت نهال آنها در فضاها و محاوط سبز شهری و روستایی و حاشیه مزارع و کانال‌های آبرسانی می‌تواند نقش مهمی در توسعه فضای سبز، جنگل‌کاری، اصلاح اکوسیستم و ترسیب کربن با اهداف چند منظوره داشته باشد. هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر منشأ رویشگاهی بر صفات رشدی درختان پده با استفاده از تحلیل‌های خوشه‌بندی و رگرسیون است تا ضمن تبیین تفاوت عملکرد رویشگاه‌ها، رویشگاه‌های مناسب‌تر برای قلمه‌گیری و تولید نهال برای استفاده در برنامه‌های جنگل‌کاری و احیای رویشگاه‌های طبیعی شناسایی شوند. همچنین معادله‌ای برای برآورد حجم بر اساس متغیرهای رشد درختان ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها: در فصل خزان، شاخه‌های یک‌ساله از پایه‌های طبیعی درختان منتخب پده در رویشگاه‌های استان مرکزی برداشت شد و از آن‌ها قلمه تهیه گردید. همچنین برای رویشگاه‌های خوزستان (گتوند و دزفول) و استان‌های اصفهان و کرمان، قلمه‌ها از جست گروه‌های حاصل از پایه‌های کاشته‌شده مربوط به این رویشگاه‌ها در ایستگاه تحقیقات البرز کرج تهیه شدند. تمامی قلمه‌های جمع‌آوری شده در خزانه نهالستان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی کشت شدند و سپس نهال‌های یک‌ساله تولید شد. پس از تولید نهال در خزانه و آماده‌سازی زمین در بهمن‌ماه ۱۴۰۰، نهال‌های یک‌ساله حاصل از ۱۰ رویشگاه مورد مطالعه در عرصه نهالستان اراک کشت شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و از هر رویشگاه ۹ نهال در هر تکرار کاشته شد. عملیات داشت در طی آزمایش مانند آبیاری، لایروبی جوی‌های آبیاری، وجین، هرس، خاک‌دهی پای نهال‌ها و حذف پاجوش‌ها و ریشه‌جوش‌ها در طول دوره آزمایش و متناسب با نیاز نهال‌ها انجام شد. در پایان سال سوم کاشت نهال، مشخصه‌های قطر در ارتفاع برابرسینه و ارتفاع کل درختان اندازه‌گیری و ثبت شدند و حجم درخت سرپا تولیدی محاسبه شد. پس از محاسبه حجم درختان و با احتساب درصد زنده‌مانی، حجم در سطح تیمار با توجه به فاصله کاشت محاسبه و به واحد مترمکعب در هکتار تبدیل شد. تجزیه و تحلیل داده‌های کمی رشد با استفاده از تحلیل واریانس دو طرفه (Two-Way ANOVA) و با در نظر گرفتن اثرات اصلی رویشگاه و بلوک و اثر متقابل آن‌ها انجام شد. همچنین به منظور بررسی الگوی شباهت و تفاوت بین رویشگاه‌ها، تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی (Cluster Analysis) بر اساس داده‌های حاصل از ترکیب رویشگاه و بلوک (به‌عنوان تکرارها) با استفاده از نرم‌افزار JMP و روش Ward انجام شد. علاوه بر این، برای محاسبه شاخص‌های آمار توصیفی صفات رویشی شامل میانگین، انحراف معیار، خطای معیار و ضریب تغییرات از پلتفرم Distribution در نرم‌افزار JMP استفاده شد. همچنین به منظور بررسی روابط بین صفات رویشی، تحلیل رگرسیون (Regression Analysis) با در نظر گرفتن حجم درخت به‌عنوان متغیر وابسته و قطر برابر سینه و ارتفاع به‌عنوان متغیرهای مستقل در نرم‌افزار JMP انجام شد.

یافته‌ها: در سال سوم کاشت نهال‌ها در عرصه نهالستان شهید رجایی اراک، بیشترین قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم کل در رویشگاه بازرجان تفرش در بلوک سوم وجود داشت به طوری که حجم کل از حداقل ۵/۹۵ مترمکعب در هکتار در بلوک سوم – رویشگاه جفتان تفرش تا حداکثر ۲۰/۴۸ مترمکعب در هکتار در بلوک سوم – رویشگاه بازرجان تفرش متغیر بود. تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی صفات رشدی درختان پده با استفاده از روش Ward، بر اساس داده‌های استانداردشده صفات قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم کل انجام شد. در این تحلیل، هر ترکیب رویشگاه–بلوک به‌عنوان یک واحد مشاهده در نظر گرفته شد و واحدهای مشاهده بر مبنای شباهت در صفات رشدی در پنج خوشه مجزا طبقه‌بندی شدند. ویژگی‌های خوشه ۱ شامل نمونه‌هایی با بهترین عملکرد رشدی از نظر هر سه صفت میانگین قطر برابر سینه (۵/۳۱ سانتی‌متر)، ارتفاع (۵/۲۲ متر) و حجم (۱۶/۸۲ مترمکعب در هکتار) و ویژگی‌های خوشه ۵ شامل نمونه‌هایی با ضعیف‌ترین عملکرد رشدی از

نظر هر سه صفت میانگین قطر برابر سینه (۳/۶۵ سانتی‌متر)، ارتفاع (۴/۰۶ متر) و حجم (۶/۲۹ مترمکعب در هکتار) است. خوشه ۱ شامل رویشگاه بازرجان تفرش بلوک‌های ۱، ۲ و ۳، محلات بلوک‌های ۱ و ۲ و ارجرود ساوه بلوک‌های ۲ و ۳ و خوشه ۵ شامل رویشگاه دزفول بلوک ۱، قلعتین ساوه و جلماجرد خمین در بلوک ۲، گتوند بلوک‌های ۲ و ۳، اصفهان بلوک ۲، جفتان تفرش و کرمان بلوک ۳ است. خوشه‌های ۲، ۳ و ۴ نیز از نظر صفات رشدی در وضعیت میانی قرار گرفتند. نتایج رگرسیون خطی چندگانه نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی برآورد حجم درخت بر اساس قطر برابر سینه و ارتفاع در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود. مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۹۵۶ است که نشان می‌دهد ۹۶ درصد از واریانس متغیر حجم درخت توسط متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع به‌طور همزمان تبیین می‌شود. ضریب تعیین تعدیل‌شده نیز با مقدار ۰/۹۵۲، این یافته را تأیید می‌کند و نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل با داده‌ها است. بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده، معادله رگرسیون چندگانه برای برآورد حجم درخت به صورت $V=-20.016+4.605\times D+2.328\times H$ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که منشأ رویشگاهی قلمه‌ها بر صفات رشدی درختان پده تأثیر قابل توجهی دارد و برخی رویشگاه‌ها، از جمله بازرجان تفرش، محلات و ارجرود ساوه، در شرایط نهالستان شهید رجایی اراک عملکرد رشدی مطلوب‌تری نسبت به سایر رویشگاه‌ها نشان دادند. بنابراین، گزینش دقیق رویشگاه‌های مادری و استفاده از قلمه‌های حاصل از توده‌های دارای عملکرد رشدی مناسب می‌تواند احتمال موفقیت برنامه‌های تولید نهال، توسعه فضای سبز، جنگل‌کاری و احیای رویشگاه‌های پده را افزایش دهد. از آنجا که قلمه‌های همه رویشگاه‌ها در شرایط یکسان نهالستان کشت شدند، تفاوت‌های مشاهده‌شده در رشد پرووننانس‌ها را می‌توان تا حد زیادی به تفاوت‌های ژنتیکی و اکولوژیکی مرتبط با منشأ رویشگاهی نسبت داد، هرچند تأیید قطعی این موضوع نیازمند مطالعات ژنتیکی و فیزیولوژیکی است. همچنین نتایج رگرسیون نشان داد که قطر برابر سینه و ارتفاع، به‌ویژه قطر برابر سینه، متغیرهای مؤثری در برآورد حجم درختان پده هستند و می‌توانند در پایش رشد و برآورد تولید چوب این گونه مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به نقش قطر برابر سینه در برآورد حجم، رعایت فاصله کاشت و تراکم مناسب در برنامه‌های تولید نهال و جنگل‌کاری می‌تواند در بهبود رشد قطری و افزایش حجم تولیدی درختان پده مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تولید نهال، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، رویشگاه، ضریب رگرسیون، ویژگی‌های رویشی.

مقدمه

گونه پده با نام علمی *Populus euphratica* Oliv. به خانواده Salicaceae، راسته Salicales، جنس *Populus* و بخش Turanga Bge تعلق دارد (۱). این گونه با قدمتی که به دورهٔ ترشیاری (۳ تا ۶ میلیون سال پیش) بازمی‌گردد، از قدیمی‌ترین درختان در میان پنج بخش جنس صنوبر محسوب می‌شود (۲). پده دارای گستره پراکنش وسیعی در مناطق خشک و بیابانی آسیا، شمال آفریقا و بخش‌هایی از جنوب اروپا است که ایران در مرکز این قلمرو رویشی قرار دارد (۳). این سازگاری اکولوژیک در دامنه عرض جغرافیایی وسیعی، از خط استوا (کنیا) تا ۴۷ درجه شمالی (قزاقستان)، مشهود است (۴). در حال حاضر، حدود ۵۹۰ هزار هکتار از جنگل‌های پده در جهان وجود دارد که توزیع نامتوازنی دارند، به‌طوری‌که حوضه رودخانه تاریم در شمال غربی چین به‌تنهایی ۵۴ درصد از این سطح (معادل ۳۵۲ هزار و ۲۰۰ هکتار) را به خود اختصاص داده است (۵).

در میان گونه‌های جنس صنوبر، پده بیشترین تحمل را نسبت به تنش‌های محیطی از جمله شوری، خشکی، قلیایی‌بودن خاک و فرسایش بادی دارد و جمعیت جهانی آن می‌تواند دامنه دمایی ۴۵- تا ۵۴ درجه سانتی‌گراد را تحمل کند. این گونه بومی ایران، گستره اکولوژیک وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور دارد. این دامنه دمایی ۴۵- تا ۵۴+ درجه سانتی‌گراد، مربوط به توانمندی کل گونه در سطح جهانی است و نه یک جمعیت واحد و جمعیت‌های این گونه در اقلیم‌های متفاوت (از مناطق سردسیر تا گرمسیر) پراکندگی دارند. این دامنه تحمل دمایی، گویای تنوع ژنتیکی بالا و قابلیت سازگاری گسترده این گونه است (۶). پراکنش این گونه در ایران در نواحی شمال و شمال غرب، مرکز و شمال شرق، شرق، جنوب و جنوب شرق است (۷). در استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان، فارس، کرمان، یزد، بوشهر، هرمزگان، خراسان، گیلان، کردستان، کرمانشاه، همدان، اصفهان، لرستان، سمنان، تهران، آذربایجان و زنجان، در حاشیه رودخانه‌ها و نهرها و مناطق در معرض سیلاب احتمالی جایی که شرایط مناسب خاک (بافت سبک و رطوبت خاک) وجود داشته باشد، به‌صورت طبیعی حضور دارد (۸ و ۹). جوامع پده یکی از پایدارترین اکوسیستم‌ها در مناطق بیابانی است و پده درختی است که در بیابان‌ها و تپه‌های ماسه‌ای در حاشیه چاله‌های بیابانی که تحت تأثیر زه‌آب‌های اطراف قرار دارند، یافت می‌شود و عمدتاً از طریق جست و ریشه‌جوش تکثیر می‌یابند (۱۰). از دیگر ویژگی‌های بارز این گونه، تحمل زیاد آن در برابر قلیائیت زیاد خاک (۹/۹-۸) است (۱۱) که سبب شده بعضی کشورها با تولید کلن‌های اصلاح‌شده نسبت به جنگل‌کاری با پده در مناطق گرم و خشک با خاک‌های شور و قلیایی اقدام کنند. اختلافات جغرافیایی و اقلیمی در گستره انتشار این گونه مؤثر است و بر همین اساس تفاوت‌هایی از نظر مورفولوژیکی و ژنتیکی میان درختان این گونه در مناطق تحت انتشار ایجاد شده است (۱۲). ریشه‌های پده عملاً به صورت افقی در ۰/۶ متر بالایی خاک گسترش می‌یابند و ریشه‌جوش‌هایی که ایجاد می‌کنند می‌توانند تا فاصله ۴۰ متر از درختان والد خود برسند (۱۳).

پده متحمل‌ترین گونه درختی نسبت به تنش‌های غیرزیستی است و می‌تواند با شرایط شدید، از سیل گرفته تا آب و هوای بسیار خشک و گرم و از خاک معمولی تا خاک با غلظت نمک بسیار بالا رویش داشته باشد ولیکن نسبت به کمبود آب در خاک و خشکی زیاد آن، سرمای دیررس و آفات حساس است (۱۴). در سازگاری با شرایط دما، پده می‌تواند حتی در شرایط سخت که دما برای استقرار گیاه کاملاً نامطلوب است، زنده بماند. به‌عنوان مثال، در حوضه رودخانه‌های ایلی (Ili)، سیردریا (Syr Darya) و چو (Chu) در مناطق رویشی قزاقستان، دمای هوا در زمستان می‌تواند به ۴۵- درجه سانتی‌گراد و در تابستان به ۵۴+ درجه

سانتی‌گراد برسد. همچنین در مناطق رویشی شمال غربی چین، بیشینه و کمینه دماهای ثبت‌شده (Extremes) نشان‌دهنده نوسانی بین۳۹/۸- تا ۴۳/۶+ درجه سانتی‌گراد است که این ارقام نشان‌دهنده شرایط سخت محیطی در رویشگاه‌های طبیعی این گونه می‌باشد. این گونه قادر است در خاک‌هایی با شوری تا ۲ درصد (معادل ۳۰ تا ۳۵ دسی‌زیمنس بر متر) رشد مطلوبی داشته باشد. اگرچه گزارش‌هایی از زنده‌مانی این گونه در شرایط شوری بالاتر تا ۵ درصد (معادل ۷۵ تا ۸۰ دسی‌زیمنس بر متر) نیز موجود است، اما باید تأکید کرد که در این سطح از شوری، رشد رویشی متوقف شده و تنها زنده‌مانی و پایداری درخت رخ می‌دهد و هموستاز یونی و اسمزی نقش مهمی در تحمل به شوری آن ایفا می‌کند (۱۵). حسامی و همکاران (۲۰۱۹) قلمه تعداد ۱۹ پرووونانس پده را از مناطق مختلف جغرافیایی کشور جمع‌آوری و ویژگی‌های رویشی و ریخت‌شناسی آنها را در خزانه ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه استان اصفهان بررسی کردند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین پرووونانس‌های مختلف از نظر صفات مورد بررسی شامل سطح ویژه برگ، درصد ماده خشک برگ، طول برگ، بیشترین پهنای برگ، نسبت طول برگ به بیشترین پهنا، طول دمبرگ، نسبت طول دمبرگ به طول برگ، ضخامت برگ و سطح برگ)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال $p<0.01$ وجود دارد. همچنین طبق نتایج آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، پرووونانس‌های قرخالر، سرخس، زابل، کرمان، ماه‌نشان، سنندج، خجیر و منجیل از دیگر پرووونانس‌ها متمایز شدند. نتایج این تجزیه نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم با مقادیر ویژه ۵/۶۴ و ۲/۰۹ به‌ترتیب ۴۷ و ۱۷/۴ درصد از تغییرات پرووونانس‌ها را تبیین کردند (۱۶). پژوهش روحی مقدم و همکاران (۲۰۲۵) مشخص ساخت که گونه پده در مناطقی با میانگین شوری ۱۸ تا ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، قابلیت رشد دارد (۱۷).

متأسفانه امروزه به‌دلیل برخی مسائل بوم‌شناختی و دخالت‌های انسانی مانند تغییر نظام هیدرولوژی، عدم مدیریت مناسب آب و خاک و درنتیجه شور شدن اراضی، تغییرکاربری و تبدیل اراضی جنگلی و رویشگاه‌های پده به اراضی کشاورزی و بهره‌برداری‌های بی‌رویه و چرای مفرط دام، رویشگاه‌های این گونه ارزشمند بومی را تهدید نموده است و از کیفیت و کمیت رویشگاه‌های آن به‌شدت کاسته است. بر اساس برآورد انجام‌شده با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۷۲، سطح پده‌زارهای ایران حدود ۲۲۵۰۰ هکتار گزارش شده است که ۸۲ درصد آن، معادل ۱۸۴۵۰ هکتار، در استان خوزستان قرار دارد (۱۸). با وجود نبود آمار به‌روز و تفکیکی از سطح و تراکم این رویشگاه‌ها، شواهد میدانی و گزارش‌های موجود نشان‌دهنده فشارهای اکولوژیک و روند کاهشی در برخی پده‌زارهای کشور است.

وجود رودخانه‌های اصلی استان مرکزی شامل مزلقان، میقان، قمرود، سه‌رود، تیره و قره‌چای و نیز وابستگی رویشگاه‌های پده به جریان‌های سطحی و تغذیه آب زیرزمینی، اهمیت اکولوژیک این عرصه‌ها را نشان می‌دهد (۱۹). با این حال، بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در استان مرکزی طی بازه زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی به طور میانگین حدود ۱۵/۵ متر کاهش یافته است (۲۰). استان مرکزی در گذشته یکی از رویشگاه‌های مهم پده در کشور به شمار می‌رفته و وجود درختان کهنسال این گونه در برخی مناطق روستایی از جمله کله‌دشت، بالقلو، قلعتین، ارجرود و زمان‌آباد در شهرستان ساوه، بازرجان و جفتان در شهرستان تفرش، جلماجرد در شهرستان خمین و آب‌گرم در شهرستان محلات و همچنین در حاشیه رودخانه‌ها، حضور دیرینه این گونه را در منطقه تأیید می‌کند (۱۹). با این حال، این رویشگاه‌ها در سال‌های اخیر تحت تأثیر عواملی مانند قطع درختان، تخریب، تغییر کاربری و تبدیل اراضی قرار گرفته‌اند که ضرورت حفاظت و احیای آنها را نشان می‌دهد (۱۹). در این راستا، حفظ ذخایر ژنتیکی درختان پده بومی هر منطقه از اقدامات اساسی برای حفاظت و توسعه اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود.

به‌طور کلی، شرایط رویشگاهی نظیر ویژگی‌های خاک، میزان رطوبت، مقدار نور، سرعت و جهت وزش باد می‌توانند بر رویش قطری و حجمی، تولید چوب و برخی ویژگی‌های آن در گونه‌های صنوبر تأثیرگذار باشند (۲۱). همچنین رویشگاه‌ها به علت تفاوت در مقدار مواد غذایی خاک، زهکشی، شرایط آب‌وهوایی، موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی می‌توانند بر ابعاد طولی و قطری درختان و ویژگی‌های چوب تولیدی آنها اثر قابل توجهی داشته باشند (۲۲). این گونه در مناطق مختلف کشور از جمله جنوب و جنوب‌شرق، مرکز، غرب و شمال‌غرب و نیز بخش‌هایی از شمال و شمال‌شرق ایران پراکنش دارد. با این حال، استان مرکزی تنها حدود ۲/۴۲٪ (با سطح پده‌زار معادل ۴۴۷/۲۷ هکتار) از کل سطح پده‌زارهای کشور (۱۸۴۵۰ هکتار) را شامل می‌شود.

درخت پده می‌تواند در طرح‌های جنگل‌کاری و حفاظت خاک در مناطق مستعد مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که تولید و پرورش نهال برای این طرح‌ها معمولاً بر اساس برنامه‌ای مشخص انجام می‌شود و نهال‌کاری نیز در زمان معینی صورت می‌گیرد، تأمین تعداد کافی نهال از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین، پیش از آغاز عملیات جنگل‌کاری، باید برای تأمین قلمه‌های مورد نیاز از رویشگاه‌های دارای توان بالا برنامه‌ریزی مناسبی انجام شود. کرامپ و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که در جنگل‌کاری با گونه پده در طرح‌های حفاظت و احیاء بایستی رویشگاه‌هایی با تنوع ژنتیکی بالا، فاصله کم نسبت به سطح آب زیرزمینی و به

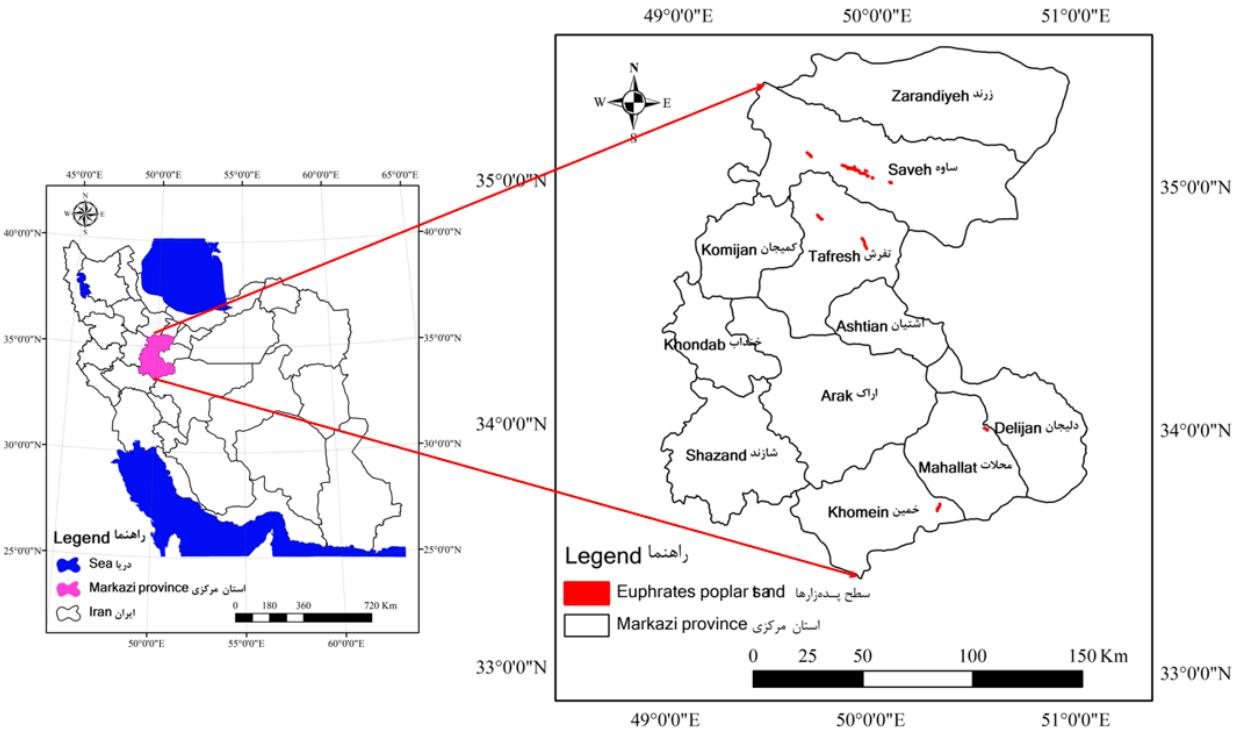
طور مکرر قرارگرفتن در معرض سیل، در اولویت کشت قرار گیرند (۲۳). شناسایی رویشگاه‌های مناسب پده با توان رویشی بالا و قوی برای قلمه‌گیری و تکثیر قلمه و توسعه کشت نهال آنها در فضاها و محاوط سبز شهری و روستایی و حاشیه مزارع و کانال‌های آبرسانی می‌تواند نقش مهمی در توسعه فضای سبز، جنگل‌کاری، اصلاح اکوسیستم و ترسیب کربن با اهداف چند منظوره داشته باشد. با توجه به اهمیت حفاظتی و پتانسیل تولیدی گونه پده، تحقیق حاضر با هدف شناسایی برترین رویشگاه‌ها از نظر توان رویشی جهت انتخاب پایه‌های مادری برای قلمه‌گیری و تولید نهال انجام شد. در این راستا، با استفاده از تحلیل‌های آماری شامل تحلیل واریانس دوطرفه (Two-Way ANOVA) و تجزیه خوشه‌بندی به روش Ward، رویشگاه‌های مختلف استان مرکزی بر پایه صفات رویشی (قطر برابرسینه، ارتفاع کل و حجم) از نظر میزان شباهت و تفاوت در توان رشد مقایسه شدند. همچنین، به منظور تسهیل در مدیریت این توده‌ها، معادله برآورد حجم درختان سرپا بر اساس متغیرهای اصلی رشد (قطر و ارتفاع) با استفاده از تحلیل‌های رگرسیون و توزیع (Distribution) تدوین شد تا ابزاری دقیق برای تخمین موجودی حجمی این گونه در برنامه‌های احیاء و جنگل‌کاری فراهم شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان مرکزی با مساحتی حدود ۲۹۱۲۸ کیلومترمربع در موقعیت جغرافیایی '۳۶ °۳۳ تا '۳۴ °۳۵ عرض شمالی و '۱۶ °۴۹ تا '۳۱ °۵۰ طول شرقی نصف النهار گرینویچ واقع شده است. پست‌ترین نقطه استان، دشت ساوه با ارتفاع کمتر از ۱۲۰۰ متر و بلندترین نقطه استان، قله شهباز (از رشته کوه‌های راسوند) در جنوب غربی با ارتفاع ۳۳۸۸ متر از سطح دریا می‌باشد. رویشگاه‌های پده در این استان عمدتاً در شهرستان‌های ساوه، تفرش، خمین و محلات قرار دارند (جدول ۱). در شهرستان ساوه، این رویشگاه‌ها در بخش‌های نوبران و مرکزی و در روستاهایی نظیر کله‌دشت، بالقلو، قلعتین، ارجرود و زمان‌آباد واقع شده‌اند که عمدتاً در محدوده دشت ساوه و حاشیه منابع آب سطحی پراکنش دارند. در شهرستان تفرش، رویشگاه‌ها در دهستان‌های بازرجان و رودبار (روستاهای بازرجان و جفتان) مشاهده می‌شوند. همچنین در شهرستان خمین (روستای جلماجرد) و شهرستان محلات (روستای آبگرم) نیز رویشگاه‌های پده وجود دارند. ارتفاع این رویشگاه‌ها بین ۱۲۴۳ تا ۱۷۱۹ متر از سطح دریا متغیر است که نشان‌دهنده استقرار این گونه در دامنه نسبتاً وسیعی از شرایط توپوگرافیک استان می‌باشد.

این استان دارای چندین حوضه آبخیز اصلی و مهم به نام‌های قمرود، قره‌چای، کویرمیقان، رودشور، دز و کرخه است. قره‌کهریز (کرهرود)، قره‌چای، قمرود و شهراب از مهم‌ترین رودخانه‌ها و دشت‌های ساوه، زرند، اراک، شازند، شراء و خمین از مهم‌ترین دشت‌های استان هستند. میانگین بارش سالانه استان ۲۶۷ میلی‌متر، متوسط حجم نزولات جوی سالانه ۷۷۰۰ میلیون مترمکعب و تبخیر و تعرق سالانه ۷۱ درصد از بارش سالانه است. در حال حاضر مقدار آبی که از طریق رودخانه‌ها، قنات‌ها، چشمه‌سارها، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به‌دست می‌آید حدود ۳/۰۲ میلیارد مترمکعب در سال است که از این مقدار حدود ۵۰ درصد (معادل ۱/۵۱ میلیارد مترمکعب) در امور کشاورزی و سایر مصارف مورد استفاده قرار می‌گیرد و مابقی به دلیل تبخیر و هرز رفتن از دست می‌رود (۲۴).

اقدامات مربوط به مرحله شناخت عرصه و دریافت اطلاعات پراکنش پده‌زارها در استان مرکزی با بررسی منابع موجود، مراجعه به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان انجام گرفت. در نخستین گام از اجرای تحقیق در سال ۱۳۹۹، محدوده عرصه‌های پده‌زار از طریق پیمایش میدانی و با استفاده از دستگاه GPS دستی Garmin eTrex 22x با دقت تقریبی ۳ تا ۵ متر برداشت شد. نقاط ثبت‌شده پس از کنترل خطاهای آشکار و بررسی اثر احتمالی چندمسیری، در محیط Google Earth بازبینی و ثبت شدند. همچنین برای داده‌های GPS تصحیح پس‌پردازش دیفرانسیلی انجام نشد. پس از ترسیم پلیگون‌های پده‌زارها در گوگل ارث، فایل‌های مربوطه به نرم‌افزار ArcMap 10.4 انتقال یافته و تبدیل به لایه پلیگونی یکپارچه به فرمت shp (شیپ فایل) شدند. سپس نقشه پراکنش کل پده‌زارهای مربوط به هر شهرستان تهیه شد (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی رویشگاه‌های پده در استان مرکزی در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت استان مرکزی در کشور و نقشه پراکنش کل پده‌زارها در سطح این استان (پلیگون‌های قرمز)

Figure 1. The location of Markazi province in the country and the distribution map of all euphrates poplar stands across the province (red polygons)

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی رویشگاه‌های پده در استان مرکزی

Table 1. Geographic location of *Populus euphratica* sites in Markazi Province

ردیف Row	شهرستان County	بخش District	دهستان Rural District	روستا Village	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation above sea level (m)
1		نوبران Nowbaran	آق‌کهریز Aq Kahriz	کله‌دشت Koleh Dasht	49°51′23″	35°04′17″	1429
2		نوبران Nowbaran	آق‌کهریز Aq Kahriz	بالقلو Balqalu	49°48′32″	35°04′16″	1588
3	ساوه Saveh	نوبران Nowbaran	بیات Bayat	قلعتین Ghalatein	49°40′24″	35°06′59″	1620
4		مرکزی Central	شاهسون کندی Shahsavan Kandi	ارجرود Arjrud	49°54′13″	35°03′48″	1404
5		مرکزی Central	شاهسون کندی Shahsavan Kandi	زمان‌آباد Zamanabad	50°04′17″	35°01′07″	1243
6	تفرش Tafresh	مرکزی Central	بازرجان Bazarjan	بازرجان Bazarjan	49°56′54″	34°45′22″	1616
7		مرکزی Central	رودبار Rudbar	جفتان Joftan	49°43′38″	34°51′38″	1387
8	خمین Khomein	مرکزی Central	گله‌زن Galehzan	جلماجرد Jelmajerd	50°20′20″	33°41′14″	1670
9	محلات Mahallat	مرکزی Central	باقرآباد Bagherabad	آب‌گرم Ab-Garm	50°33′31″	33°59′59″	1719

روش پژوهش

جمع‌آوری شاخه از رویشگاه‌های پده: در فصل خزان در سال ۱۳۹۹، از هر یک از رویشگاه‌های پده استان مرکزی که فاصله مکانی هر یک از رویشگاه‌ها از یکدیگر بیش از ۱۷ کیلومتر است، ابتدا درختان بالغ و سالم دارای رشد مناسب، فرم مطلوب تنه، تاج سالم و عاری از علائم آفات، بیماری‌ها و آسیب‌های مکانیکی شناسایی شدند. سپس پایه‌هایی با شرایط رویشی نزدیک به میانگین توده از نظر قطر و ارتفاع به‌صورت انتخابی-سیستماتیک و با فاصله تقریبی ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر از یکدیگر انتخاب و شماره‌گذاری شدند و از هر یک از پایه‌های منتخب، به تعداد کافی شاخه‌های یک‌ساله به‌منظور قلمه‌گیری تهیه گردید.

مشخصات عرصه کشت: پژوهش پیش‌رو در نهالستان شهید رجایی اراک وابسته به اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی واقع در ۵ کیلومتری شمال شرقی شهر اراک اجرا شده است. نهالستان در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۹ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول شرقی و ارتفاع ۱۷۱۵ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه این منطقه در بازه زمانی ۴۰ ساله (۱۳۵۷ تا ۱۳۹۷) برابر با ۳۲۵ میلی‌متر و میانگین ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد است. منبع تأمین آب نهالستان یک حلقه چاه عمیق با دبی ۲۵ لیتر در ثانیه است. شیب متوسط نهالستان بین صفر تا ۱۲ درصد در جهت عمومی شمال قرار دارد. بر اساس طبقه‌بندی گوسن، اقلیم منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم است (۲۵). پیش از شروع پژوهش، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در آزمایشگاه خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در سه تکرار تعیین شد (جدول ۲). ویژگی‌های خاک شامل هدایت الکتریکی با EC متر، واکنش خاک با pH متر، رسوبات اشباع به روش تیتراسیون (۲۶)، کربنات کلسیم به روش کلسیمتری (۲۷)، کربن آلی به روش سرد والکی بلک (۲۷)، ازت کل به روش کجلدال (۲۸)، پتاسیم قابل جذب با فلیم فتومتر با کاربرد روش استات آمونیوم (۲۹)، فسفر قابل جذب به روش اولسون با دستگاه اسپکتروفتومتر (۳۰) و بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (۲۶) تعیین شد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک عرصه کاشت نهال‌های پده واقع در نهالستان اراک

Table 2. Some physical and chemical characteristics of the soil of the planting area of *Populus euphratica* seedlings at the Arak nursery

بافت Texture	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Absorbable phosphorus (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Absorbable potassium (mg kg^{-1})	ازت کل (درصد) Total nitrogen (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	کربنات کلسیم (درصد) Calcium carbonate (%)	رسوبات اشباع (درصد) Saturation percentage (SP, %)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)	عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)
لومی-شنی Sandy loam	17.7	582	0.14	1.41	19.24	35.5	7.81	0.88	0-30
لومی-رسی Clay loam	16.3	516	0.1	0.95	18.87	42.5	7.93	1.07	30-60

کشت قلمه‌ها در خزانه و انتقال نهال‌های تولیدی به عرصه کاشت: قلمه‌های تهیه شده از هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه استان مرکزی و همچنین از جست‌های استان‌های خوزستان (گتوند و دزفول) و اصفهان و کرمان موجود در ایستگاه تحقیقاتی البرز، در خزانه نهالستان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی کشت شدند. تا جایی که امکان داشت از قلمه‌های یکنواخت به طول ۲۰ و قطر حدود ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متری استفاده شد و سپس نهال یکساله (ساقه و ریشه یکساله) تولید شد. پس از تولید نهال در خزانه از قلمه هر یک از رویشگاه‌ها، این نهال‌های تولیدی در سه بلوک در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در عرصه نهالستان قرار گرفتند. استفاده از بلوک‌بندی در این آزمایش با هدف کنترل تغییرات محیطی ناخواسته و افزایش دقت مقایسه صفات رشدی بین رویشگاه‌های مختلف انجام شد. در بهمن ماه ۱۴۰۰، زمین مورد نیاز به مساحت تقریبی ۳۵۰۰ مترمربع شخم زده شد و کود حیوانی به میزان ۴۰ تن در هکتار جهت تقویت خاک با شخم به زمین داده شد. سپس نهال یکساله تولیدی از هر یک از رویشگاه‌های بازرجان تفرش، جفتان تفرش، ارجرود ساوه، قلعتین ساوه، جلماجرد خمین، دزفول، گتوند، اصفهان، کرمان و محلات به تعداد ۹ پایه از هر رویشگاه در زمین کشت شدند (در مجموع تعداد ۲۷۰ اصله برای تیمارهای رویشگاه و تعداد ۱۴۶ اصله نهال نیز به‌عنوان اثرات حاشیه‌ای یا بافر کاشته شد).

عملیات داشت در طی آزمایش مانند آبیاری، لایروبی جوی‌های آبیاری، وجین، هرس، خاک دادن پای نهال‌ها، حذف پاجوش‌ها و ریشه‌جوش‌ها به‌طور منظم و در صورت نیاز انجام گرفت. پس از کاشت نهال‌ها، همه ساله در پایان فصل رویش ویژگی‌های رویشی مانند قطر در ارتفاع برابرسینه و ارتفاع کل درختان اندازه‌گیری شد. هر ساله در پایان فصل رویش، قطر درختان در محل ارتفاع برابر سینه (۱/۳۰ متر از سطح زمین که قبلاً اندازه‌گیری و رنگ‌آمیزی شده بود) با کولیس تا دقت میلی‌متر و ارتفاع

درختان با شاخص (میر) پنج متری استاندارد از جنس آلومینیوم مدل W7H5M و در سال‌های بعد با ارتفاع سنج سونتو مدل PM-5/360 تا دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. حجم درخت سرپا تولیدی از رابطه ۱ محاسبه شد (۳۱).

$$V = \frac{\pi}{۴} d^{۲} \times h \times f \qquad (۱)$$

V= حجم سرپا به مترمکعب، d= قطر برابر سینه به متر، h= ارتفاع به متر، f= ضریب شکل که ۰/۵ در نظر گرفته شد.

پس از محاسبه حجم کلیه درختان و با احتساب درصد زنده‌مانی، حجم هر ترکیب رویشگاه–بلوک با توجه به فاصله کاشت محاسبه و به واحد مترمکعب در هکتار تبدیل شد. با توجه به عدم وجود جداول حجم اختصاصی برای گونه *P. euphratica* در منطقه مورد مطالعه، جهت برآورد حجم درختان از معادلات حجمی تدوین‌شده برای گونه هم‌جنس (*Populus alba*) استفاده گردید (۳۱). همچنین لازم به ذکر است که درختان مورد بررسی هنوز به سن بهره‌برداری نرسیده و وارد مرحله تولید چوب قابل برداشت نشده‌اند، بنابراین حجم درختان صرفاً به‌منظور برآورد نسبی تولید چوب و مقایسه عملکرد رویشگاه‌های مختلف محاسبه شد. در عین حال، باید در نظر داشت که تفاوت‌های جزئی در پتانسیل‌های اکولوژیک این دو گونه، می‌تواند در تحلیل‌های دقیق‌تر مورد توجه قرار گیرد.

تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌های کمی رشد تحت اثرات متقابل رویشگاه و بلوک بر اساس تحلیل واریانس دو طرفه (Two-Way ANOVA) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. همچنین به منظور بررسی الگوی شباهت و تفاوت بین رویشگاه‌ها و بلوک‌های مختلف بر اساس میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده، تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی (Cluster Analysis) با استفاده از نرم‌افزار JMP و روش Ward انجام شد. به‌منظور بررسی توزیع داده‌ها و محاسبه شاخص‌های آمار توصیفی صفات رویشی، از پلتفرم Distribution در نرم‌افزار JMP استفاده شد. همچنین، برای بررسی رابطه بین صفات رویشی، تحلیل رگرسیون (Regression Analysis) با در نظر گرفتن حجم درخت به‌عنوان متغیر وابسته و قطر برابر سینه و ارتفاع به‌عنوان متغیرهای مستقل با روش ورود همزمان متغیرها (Enter method) در نرم‌افزار JMP انجام شد.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری داده‌های کمی رشد: نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی شامل قطر برابر سینه، ارتفاع کل و حجم کل درختان پده نشان داد که اثر اصلی رویشگاه بر تمامی متغیرهای مورد بررسی در سال سوم پس از کاشت نهال از نظر آماری معنی‌دار است (جدول ۳). معنی‌دار بودن این اثر بیانگر آن است که بین رویشگاه‌های مختلف از نظر ویژگی‌های رشدی اختلاف قابل توجهی وجود دارد و منبع رویشی قلمه‌ها می‌تواند نقش مهمی در میزان رشد و عملکرد درختان داشته باشد. این موضوع نشان می‌دهد که تفاوت‌های ژنتیکی و همچنین شرایط اکولوژیکی رویشگاه‌های مبدأ می‌تواند بر توان رشد نهال‌ها تأثیرگذار باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل رویشگاه و بلوک نیز برای صفات مورد مطالعه معنی‌دار است (جدول ۳). این موضوع نشان‌دهنده آن است که پاسخ رویشگاه‌های مختلف در بلوک‌های آزمایشی یکسان نبوده و احتمالاً عوامل محیطی در محل اجرای آزمایش مانند تفاوت‌های جزئی در مقدار رطوبت دریافتی و یا شرایط ریزاقلیمی بر میزان رشد درختان تأثیر گذاشته است. در چنین شرایطی، برخی رویشگاه‌ها ممکن است در یک بلوک عملکرد بهتری نسبت به بلوک دیگر نشان دهند. در نهالستان‌ها، اگرچه شرایط خاک یکنواخت است، اما اثرات محیطی دیگری نظیر اثرات حاشیه‌ای، تفاوت‌های جزئی در شیب، تابش نور، یا تغییرات جزئی در مدیریت آبیاری در بلوک‌های مختلف، می‌توانند به عنوان متغیرهای مزاحم بر رشد نهال‌ها اثر بگذارند. تغییرات احتمالی و کوچک خارج از کنترل مستقیم در قالب بلوک‌ها کنترل شده و تأثیر آنها از خطای آزمایشی خالص تفکیک گردد و سبب می‌شود که نتایج با اطمینان بالاتری ارائه شوند.

در مقابل، اثر اصلی بلوک برای هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبوده است. این نتیجه نشان می‌دهد که شرایط کلی محیطی در بین بلوک‌های آزمایشی تا حد زیادی یکنواخت بوده و اختلاف محسوسی در عوامل محیطی اصلی بین بلوک‌ها وجود نداشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت مشاهده‌شده در صفات رشد بیشتر ناشی از تفاوت بین رویشگاه‌های مبدأ قلمه‌ها است و تفاوت در شرایط محیطی در محل اجرای آزمایش تأثیر معنی‌داری ندارد. به طور کلی، نتایج این پژوهش اهمیت انتخاب رویشگاه مناسب به عنوان منبع تأمین قلمه درخت پده را نشان می‌دهد. شناسایی و استفاده از رویشگاه‌هایی که دارای رشد بهتر و عملکرد بالاتری هستند می‌تواند در برنامه‌های احیا، توسعه جنگل‌کاری و مدیریت منابع جنگلی در رویشگاه‌های پده نقش مؤثری ایفا کند.

جدول ۳- تجزیه واریانس متغیرهای رشد درختان پده تحت تیمارهای اصلی و متقابل رویشگاه و بلوک

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) of growth variables of *Populus euphratica* trees under the main and interaction effects of site and block treatments.

منابع تغییرات Sources of variation	مشخصه‌های رویشی Vegetative characteristics	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	آماره F	سطح معنی‌داری Sig.
رویشگاه Site	قطر برابر سینه Diameter at breast height (DBH)	89.071	9	9.897	16.354	0.000**
	ارتفاع (متر) Height (m)	47.56	9	5.284	12.824	0.000**
	حجم کل Total volume ($m^3 ha^{-1}$)	3592.35	9	399.15	12.197	0.000**
بلوک Block	قطر برابر سینه Diameter at breast height (DBH)	2.381	2	1.19	1.967	0.142ns
	ارتفاع (متر) Height (m)	0.767	2	0.383	0.93	0.396ns
	حجم کل Total volume ($m^3 ha^{-1}$)	155.697	2	77.849	2.379	0.095ns
رویشگاه × بلوک Site × Block	قطر برابر سینه Diameter at breast height (DBH)	32.093	18	1.783	2.946	0.000**
	ارتفاع (متر) Height (m)	14.271	18	0.793	1.924	0.015*
	حجم کل Total volume ($m^3 ha^{-1}$)	1163.915	18	64.662	1.976	0.012*
خطا Error	قطر برابر سینه Diameter at breast height (DBH)	145.242	240	0.605		
	ارتفاع (متر) Height (m)	98.897	240	0.412		
	حجم کل Total volume ($m^3 ha^{-1}$)	7854.206	240	32.726		

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ns: عدم معنی‌داری

**: Significant at the 99% confidence level *: Significant at the 95% confidence level ns: non-significant

نتایج ارزیابی صفات رویشی در سال سوم پس از کاشت (جدول ۴) بیانگر تفاوت‌های معنی‌دار آماری ($P\leq0.05$) بین رویشگاه‌های مختلف در تمامی صفات مورد بررسی است. بر اساس نتایج، رویشگاه‌های بومی استان مرکزی (شامل بازرجان تفرش، ارجرود ساوه و محلات) برتری محسوسی نسبت به سایر رویشگاه‌ها داشتند. به‌طوری که رویشگاه بازرجان تفرش با

میانگین ۵/۵ سانتی‌متر برای قطر برابر سینه، ۵/۳۹ متر برای ارتفاع و ۱۷/۵۴ مترمکعب در هکتار برای حجم کل، در بالاترین رده آماری قرار گرفت. مشاهدات نشان داد که قلمه‌های متعلق به رویشگاه‌های نزدیک‌تر به محل کشت (نظیر بازرجان تفرش، ارجرود ساوه و محلات)، به دلیل انطباق بیشتر با شرایط اقلیمی منطقه (سازگاری محلی)، از پتانسیل رشدی بالاتری در مقایسه با سایر رویشگاه‌ها (مانند کرمان، اصفهان و و جلماجرد خمین) برخوردارند. به طور کلی، تفاوت‌های مشاهده‌شده در عملکرد چوب رویشگاه‌ها (از ۷/۶ تا ۱۷/۵۴ مترمکعب در هکتار از نظر حجم تولیدی)، نشان‌دهنده اهمیت انتخاب جمعیت‌های سازگار با اقلیم منطقه در برنامه‌های جنگل‌کاری است. در واقع، این یافته‌ها مؤید آن است که در عملیات‌های توسعه فضای سبز و احیاء، استفاده از قلمه توده‌های بومی و سازگار محلی می‌تواند موجب دستیابی به بالاترین میزان تولید چوب و بهبود شاخص‌های رشدی گردد (۳۲).

جدول ۴- میانگین صفات رشدی درختان پده تحت اثر اصلی رویشگاه در سال سوم پس از کاشت

Table 4. Mean growth traits of *Populus euphratica* trees under the main effect of site in the third year after planting.

رویشگاه Site	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ارتفاع (متر) Height (m)	حجم کل (مترمکعب در هکتار) Total volume (m^3 ha^{-1})
بازرجان تفرش Bazarjan Tafresh	5.5(0.19)a	5.39(0.09)a	17.54(0.87)a
جفتان تفرش Joftan Tafresh	4.02(0.12)b	4.11(0.13)e	8.65(1.31)b
ارجرود ساوه Arjrud Saveh	5.19(0.08)a	5.1(0.12)ab	16.59(1.66)a
قلعتین ساوه Ghalatein Saveh	4(0.11)b	4.56(0.13)cd	9.2(1.33)b
جلماجرد خمین Jelmajerd Khomein	4.09(0.17)b	4.05(0.13)e	8.01(0.91)b
دزفول Dezful	4.14(0.23)b	4.56(0.12)cd	10.03(1.34)b
گتوند Gotvand	4.12(0.18)b	4.35(0.11)de	8.93(1.05)b
اصفهان Isfahan	3.9(0.15)b	4.56(0.15)cd	7.6(0.54)b
کرمان Kerman	3.94(0.18)b	4.17(0.16)de	7.64(0.78)b
محلات Mahallat	5.08(0.13)a	4.92(0.11)bc	14.65(1.19)a

اعداد داخل (): اشتباه معیار

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف انگلیسی مشابه هستند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری از نظر آماری ندارند.

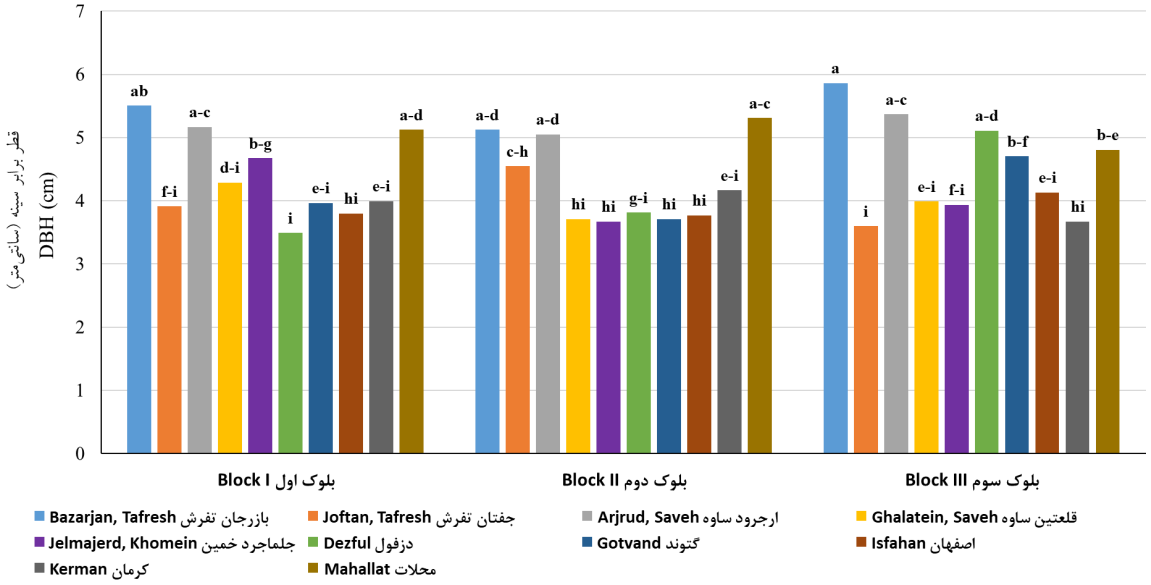
Numbers in parentheses: Std. Error of Mean

Means followed by the same English letters in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری صفات رویشی نشان داد که بیشترین قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم کل در رویشگاه بازرجان تفرش در بلوک سوم وجود دارد. این موضوع بیانگر آن است که قلمه‌های برداشت‌شده از رویشگاه بازرجان دارای توان ژنتیکی بالاتری برای رشد بوده و در شرایط نهالستان اراک نیز عملکرد رشدی مطلوب‌تری از خود نشان داده‌اند. در مقابل، کمترین قطر برابر سینه در رویشگاه دزفول (بلوک اول) و رویشگاه جفتان تفرش (بلوک سوم) مشاهده شد (شکل ۲). کمترین ارتفاع در رویشگاه جلماجرد خمین در بلوک سوم ثبت شد (شکل ۳). کمترین حجم کل در رویشگاه‌های قلعتین ساوه و جلماجرد خمین در بلوک دوم و جفتان تفرش در بلوک سوم است (شکل ۴). در پژوهش حاضر، متوسط قطر برابرسینه درختان از حداقل ۳/۴۹ سانتی‌متر در بلوک اول –رویشگاه دزفول تا حداکثر ۵/۸۶ سانتی‌متر در بلوک سوم – رویشگاه بازرجان تفرش متغیر بود (شکل ۲). ارتفاع کل از حداقل ۳/۶۴ متر در بلوک سوم – رویشگاه جلماجرد خمین تا حداکثر ۵/۷۶ متر در همان بلوک – رویشگاه بازرجان تفرش متغیر است (شکل ۳). حجم کل از حداقل ۵/۹۵ مترمکعب در هکتار در بلوک سوم – رویشگاه جفتان تفرش تا حداکثر ۲۰/۴۸ مترمکعب در هکتار در بلوک سوم – رویشگاه بازرجان تفرش را نشان داد (شکل ۴). این اختلافات قابل توجه در رشد میان رویشگاه‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های ژنتیکی پایدار در میان رویشگاه‌های مختلف پده است. وقوع حداقل و حداکثر حجم کل در بلوک سوم، به‌ترتیب در رویشگاه‌های جفتان تفرش و بازرجان تفرش، می‌تواند بیانگر تفاوت در پاسخ پرووونانس‌ها به شرایط ریزاقلیمی داخل بلوک‌ها باشد. از آنجا که هر دو مقدار حدی در یک بلوک مشاهده شده‌اند، این الگو الزاماً نشان‌دهنده برتری یا ضعف کلی بلوک سوم نیست، زیرا در صورت وجود اثر یکنواخت بلوک یا ناهمگنی شدید خاک، انتظار می‌رفت اکثر پرووونانس‌ها در آن بلوک روندی مشابه از نظر رشد نشان دهند. تفاوت چشمگیر بین دو رویشگاه در یک بلوک واحد نشان می‌دهد که علاوه بر شرایط محیطی عمومی نهالستان، منشأ رویشگاهی قلمه‌ها و برهم‌کنش آن با شرایط ریزاقلیمی نیز در عملکرد رشد مؤثر بوده است. بنابراین، این نتیجه را می‌توان به اثر متقابل رویشگاه × بلوک، تغییرپذیری طبیعی قلمه‌ها و تفاوت‌های ژنتیکی احتمالی بین پرووونانس‌های مبدأ نسبت داد (۳۳).

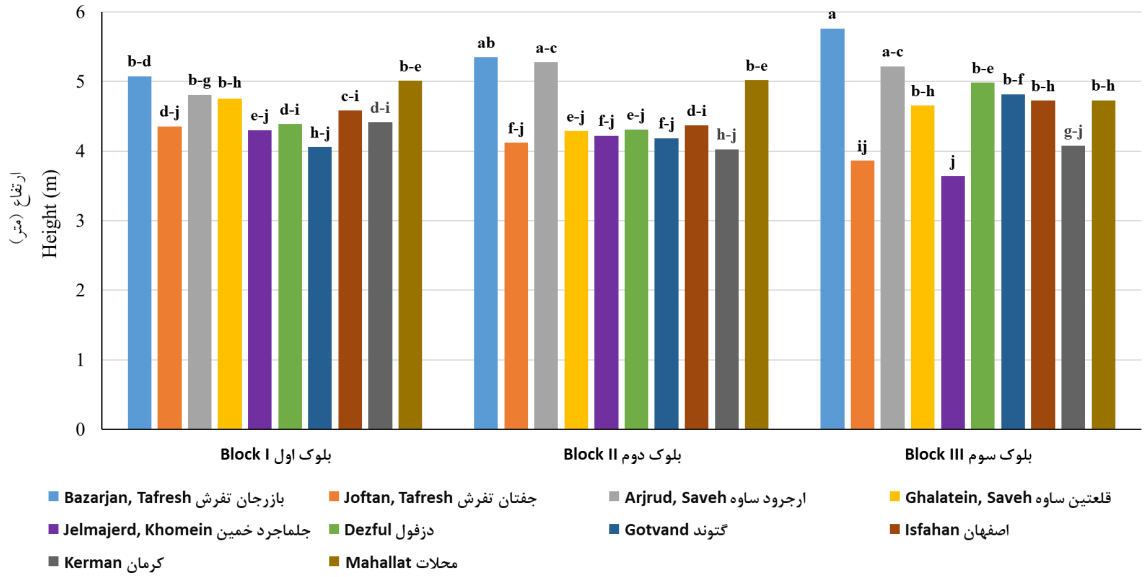
پده به دلیل پراکنش گسترده در شرایط اکولوژیکی متنوع، دارای تنوع ژنتیکی بالایی است و همین امر سبب بروز اختلاف در توان رشد در محیط یکنواخت نهالستان شده است. عملکرد بسیار بالای رویشگاه بازرجان تفرش حاکی از آن است که قلمه‌های این رویشگاه نه‌تنها از نظر رشد رویشی برتر است، بلکه احتمالاً دارای سازگاری ژنتیکی بهتری با شرایط اقلیمی نهالستان نیز

می‌باشد. در مطالعه حسامی و همکاران (۲۰۱۹) پرووونانس دزفول عملکردی در حد متوسط رو به ضعیف در مرحله خزانه نشان داده است (۱۶). در مقابل، در پژوهش حاضر فرآیند بررسی از مرحله تهیه قلمه، کشت در خزانه و سپس انتقال به عرصه تحقیقاتی انجام شده و ارزیابی رشد در مجموع طی چهار سال صورت گرفته است. با توجه به تفاوت در منبع تهیه قلمه‌ها، سن سیستم ریشه‌ای، شرایط خزانه و مدت زمان ارزیابی رشد، تفاوت در عملکرد برخی پرووونانس‌ها از جمله دزفول در دو پژوهش قابل انتظار است. هرچند رویشگاه دزفول در استان خوزستان دارای اقلیم گرم است و انتظار می‌رود گونه پده در چنین شرایطی رشد مطلوبی داشته باشد، اما باید توجه داشت که سازگاری ژنتیکی پرووونانس‌ها معمولاً با شرایط اقلیمی مبدأ آن‌ها مرتبط است. در پژوهش حاضر، قلمه‌های رویشگاه دزفول که به شرایط گرم‌تر و زمستان‌های ملایم‌تر سازگار شده‌اند، در شرایط اقلیمی نهالستان اراک که دارای زمستان‌های سردتر و دامنه نوسان دمایی بیشتر است کشت شدند. این اختلاف اقلیمی می‌تواند موجب کاهش سازگاری و در نتیجه رشد ضعیف‌تر این پرووونانس در مقایسه با برخی رویشگاه‌های دیگر شود. این موضوع نشان می‌دهد که در برنامه‌های احیا و توسعه این گونه، انتخاب پرووونانس‌های سازگار با شرایط اقلیمی محل کاشت از اهمیت زیادی برخوردار است.



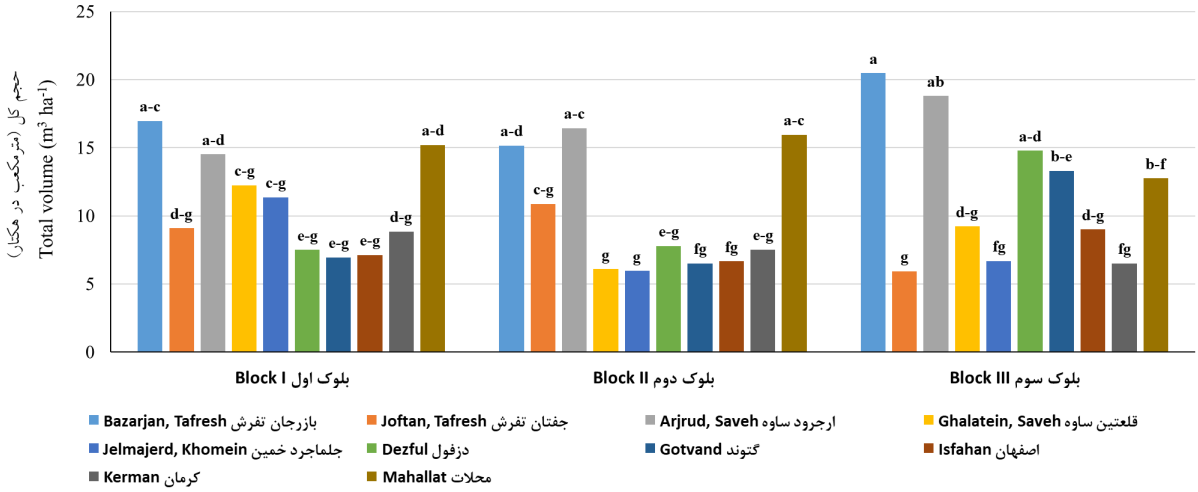
شکل ۲- میانگین متغیر قطر برابر سینه درختان پده تحت اثر متقابل رویشگاه و بلوک در سال سوم پس از کاشت با آزمون چند دامنه‌ای دانکن

Figure 2. Mean diameter at breast height (DBH) of *Populus euphratica* trees under the interaction effect of site × block in the third year after planting using Duncan's multiple range test



شکل ۳- میانگین متغیر ارتفاع درختان پده تحت اثر متقابل رویشگاه و بلوک در سال سوم پس از کاشت با آزمون چند دامنه‌ای دانکن

Figure 3. Mean height of *Populus euphratica* trees under the interaction effect of site × block in the third year after planting using Duncan's multiple range test

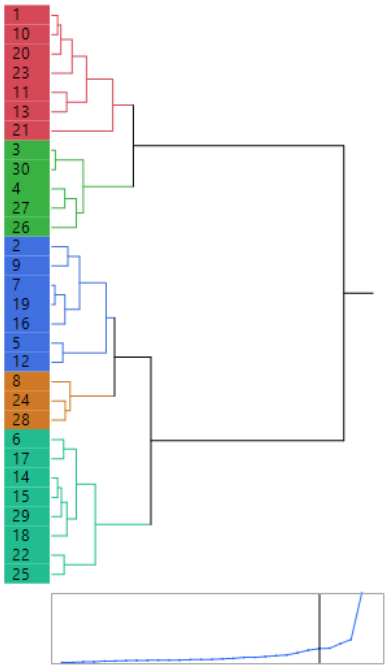


شکل ۴- میانگین متغیر حجم کل درختان پده تحت اثر متقابل رویشگاه و بلوک در سال سوم پس از کاشت با آزمون چند دامنه‌ای دانکن

Figure 4. Mean total volume of *Populus euphratica* trees under the interaction effect of site × block in the third year after planting using Duncan's multiple range test.

تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی (Cluster Analysis): شکل ۵ دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی صفات رشدی درختان پده را بر اساس روش Ward نشان می‌دهد. این تحلیل، نمونه‌ها را بر مبنای شباهت در صفات رشدی شامل قطر

برابر سینه، ارتفاع و حجم کل به پنج خوشه مجزا طبقه‌بندی کرد. تشکیل پنج خوشه بیانگر وجود تنوع قابل توجه در الگوی رشد پده مورد مطالعه است. در این روش، نمونه‌هایی که از نظر صفات رشدی شباهت بیشتری داشتند در یک خوشه قرار گرفتند و خوشه‌های متمایز در سطوح بالاتر فاصله درختی از یکدیگر جدا شدند. به طور کلی، نتایج دندروگرام نشان می‌دهد که صفات رشدی مورد بررسی توانایی مناسبی در تفکیک نمونه‌ها و شناسایی گروه‌های همگن رشدی دارند.



شکل ۵- دندروگرام تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی صفات رشدی درختان پده با استفاده از روش Ward

Figure 5. Hierarchical clustering dendrogram of *Populus euphratica* trees based on growth traits using Ward's method

ویژگی‌های خوشه ۱ شامل نمونه‌هایی با بهترین عملکرد رشدی از نظر هر سه صفت میانگین قطر برابر سینه (۵/۳۱ سانتی‌متر)، ارتفاع (۵/۲۲ متر) و حجم (۱۶/۸۲ مترمکعب در هکتار) و ویژگی‌های خوشه ۵ شامل نمونه‌هایی با ضعیف‌ترین عملکرد رشدی از نظر هر سه صفت میانگین قطر برابر سینه (۳/۶۵ سانتی‌متر)، ارتفاع (۴/۰۶ متر) و حجم (۶/۲۹ مترمکعب در هکتار) است (جدول ۵). خوشه ۱ شامل رویشگاه بازرجان تفرش بلوک‌های ۱، ۲ و ۳، محلات بلوک‌های ۱ و ۲ و ارجرود ساوه بلوک‌های ۲ و ۳ ، خوشه ۲ شامل رویشگاه ارجرود ساوه و قلعتین ساوه در بلوک ۱، دزفول، گتوند و محلات در بلوک ۳ و خوشه ۳ شامل رویشگاه جفتان تفرش بلوک‌های ۱ و ۲، جلماجرد خمین و گتوند در بلوک ۱، کرمان بلوک‌های۱ و ۲ و دزفول بلوک ۲، خوشه ۴ شامل

رویشگاه اصفهان بلوک‌های ۱ و ۳ و قلعتین ساوه بلوک ۳ و خوشه ۵ شامل رویشگاه دزفول بلوک ۱، قلعتین ساوه و جلماجرد خمین در بلوک ۲، گتوند بلوک‌های ۲ و ۳، اصفهان بلوک ۲، جفتان تفرش و کرمان بلوک ۳ است (جدول ۵). تفاوت‌های مشاهده شده بین خوشه‌ها نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی یا شرایط محیطی متفاوت مبدأ رویشگاه بر رشد این درختان است.

جدول ۵- شاخص‌های آمار توصیفی صفات رشدی درختان پده در هر یک از خوشه‌ها

Table 5. Descriptive statistical indices of growth traits of *Populus euphratica* trees in each cluster

خوشه ۵ Cluster 5	خوشه ۴ Cluster 4	خوشه ۳ Cluster 3	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۱ Cluster 1	پارامتر آماری Statistical parameter	مشخصه‌های رویشی Vegetative characteristics
3.65	3.98	4.18	4.81	5.31	میانگین Mean	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)
0.2	0.18	0.33	0.3	0.3	انحراف معیار Std Deviation	
0.07	0.11	0.13	0.13	0.11	اشتباه معیار Std Error	
8	3	7	5	7	تعداد N	
5.48	4.52	7.89	6.24	5.65	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	
4.06	4.87	4.31	4.87	5.22	میانگین Mean	ارتفاع (متر) Height (m)
0.24	0.12	0.12	0.16	0.3	انحراف معیار Std Deviation	
0.09	0.07	0.05	0.07	0.11	اشتباه معیار Std Error	
8	3	7	5	7	تعداد N	
5.91	2.46	2.78	3.29	5.75	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	
6.29	8.93	9.31	13.46	16.82	میانگین Mean	حجم کل (مترمکعب در هکتار) Total volume (m^3 ha^{-1})
0.41	1.01	2.03	0.71	1.64	انحراف معیار Std Deviation	
0.15	0.58	0.77	0.32	0.62	اشتباه معیار Std Error	
8	3	7	5	7	تعداد N	
6.52	11.31	21.8	5.27	9.75	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	
6, 14, 15, 17, 18, 22, 25, 29	8, 24, 28	2, 5, 7, 9, 12, 16, 19	3, 4, 26, 27, 30	1, 10, 11, 13, 20, 21, 23		شماره تیمارها Treatment numbers

در بلوک اول: ۱: بازرجان تفرش، ۲: جفتان تفرش، ۳: ارجرود ساوه، ۴: قلعتین ساوه، ۵: جلماجرد خمین، ۶: دزفول، ۷: گتوند، ۸: اصفهان، ۹: کرمان و ۱۰: محلات. در بلوک دوم: ۱۱: بازرجان تفرش، ۱۲: جفتان تفرش، ۱۳: ارجرود ساوه، ۱۴: قلعتین ساوه، ۱۵: جلماجرد خمین، ۱۶: دزفول، ۱۷: گتوند، ۱۸: اصفهان، ۱۹: کرمان و ۲۰: محلات. در بلوک سوم: ۲۱: بازرجان تفرش، ۲۲: جفتان تفرش، ۲۳: ارجرود ساوه، ۲۴: قلعتین ساوه، ۲۵: جلماجرد خمین، ۲۶: دزفول، ۲۷: گتوند، ۲۸: اصفهان، ۲۹: کرمان و ۳۰: محلات.

In **Block 1**: 1: Bazarjan Tafresh, 2: Joftan Tafresh, 3: Arjrud Saveh, 4: Ghalatein Saveh, 5: Jelmajerd Khomein, 6: Dezful, 7: Gotvand, 8: Isfahan, 9: Kerman, and 10: Mahallat. In **Block 2**: 11: Bazarjan Tafresh, 12: Joftan Tafresh, 13: Arjrud Saveh, 14: Ghalatein Saveh, 15: Jelmajerd Khomein, 16: Dezful, 17: Gotvand, 18: Isfahan, 19: Kerman, and 20: Mahallat. In **Block 3**: 21: Bazarjan Tafresh, 22: Joftan Tafresh, 23: Arjrud Saveh, 24: Ghalatein Saveh, 25:

Jelmajerd Khomein, 26: Dezful, 27: Gotvand, 28: Isfahan, 29: Kerman, and 30: Mahallat.

در خوشه ۱ به‌دلیل اینکه رویشگاه‌های بازرجان تفرش، ارجرود ساوه، قلعتین ساوه و محلات در حاشیه رودخانه با شرایط رویشگاهی بسیار مطلوب قرار گرفتند که سبب شده است قلمه تهیه شده از این رویشگاه‌ها از توان رویشی بالاتری برخوردار باشند و بیشترین میزان قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم کل را داشته باشند. رویشگاه‌های جفتان تفرش و جلماجرد خمین در حاشیه و داخل رودخانه خشک مستقر شده‌اند که رودخانه فاقد آب جاری است و احتمالاً پایه مادری آنها فقط از سفره آب زیرزمینی تغذیه می‌کند که احتمال خشک شدن این پایه‌های مادری پده در سال‌های آینده وجود دارد. همچنین پرووِنانس‌های گرمسیری با مبادی جغرافیایی استان خوزستان (دزفول و گتوند) دارای میانگین دمای سالانه ۲۴ تا ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد و طول دوره رویش ۸ تا ۹ ماه در مبدأ اصلی هستند، به‌نحوی که وقتی این پرووِنانس‌ها در شرایط اقلیمی اراک (میانگین دمای سالانه ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد و ۶ تا ۷ ماه طول دوره رویش) قرار می‌گیرند، نمی‌توانند با شرایط محیطی سازگار شوند و نهال آنها میزان رشد کمتری را نسبت به پرووِنانس‌های بومی نشان می‌دهند. بنابراین وجود این تفاوت‌های رشد میان پرووِنانس‌ها می‌تواند بیانگر این باشد که عوامل اقلیمی و جغرافیایی به تنهایی نمی‌توانند در رشد این پرووِنانس‌ها دخالت داشته باشند. بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده در رشد میان پرووِنانس‌ها را می‌توان تا حد زیادی ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین رویشگاه‌های مبدأ دانست، زیرا تمامی قلمه‌ها در شرایط محیطی نسبتاً یکسان در نهالستان اراک کشت و ارزیابی شدند. در اغلب منابع نیز گزارش شده است که قلمه‌های جمع‌آوری شده از پرووِنانس‌های مختلف از بازده تولید متفاوتی برخوردارند (۱۸ و ۳۴). نهال‌های تولیدی از قلمه‌های جمع‌آوری شده با منشأ محیط‌های مادری مطلوب نسبت به قلمه‌های جمع‌آوری شده از محیط مادری با شرایط تنش خشکی، از توان رویشی و پتانسیل سازگاری بالاتری برخوردارند که دلالت بر اهمیت انتخاب آنها در جنگل‌کاری‌ها دارد. کلاگری و همکاران (۲۰۱۰) با مقایسه پرووِنانس‌های مختلف پده در عرصه غیرشور ایستگاه تحقیقاتی البرز کرج نشان دادند که پرووِنانس‌های رامهرمز، گتوند، تفرش و حمیدیه دارای بیشترین قطر و ارتفاع و پرووِنانس‌های ماهنشان و گتوند کمترین مقدار را به لحاظ صفات رویشی مذکور داشتند (۱۸). نتایج تحقیق حاضر قابل استفاده و کاربردی برای سازمان‌های اجرایی، کارشناسان جنگل و شهرداری‌ها در امور فنی و برنامه‌ریزی برای توسعه کشت گونه بومی در مناطق مستعد در عملیات جنگل‌کاری‌ها می‌باشد.

رویشگاه بازرجان تفرش در حاشیه رودخانه شهرآب و رویشگاه ارجرود ساوه در حاشیه رودخانه قره‌چای با جریان آبی دائم و با وضعیت رویشی مطلوب درختان قرار گرفته‌اند ولیکن رویشگاه جلماجرد خمین از وضعیت رویشی پایینی برخوردار است که در حاشیه رودخانه خشک خرقاب قرار گرفته است و سایر رویشگاه‌ها در وضعیت میانگین قرار دارند به‌طوری‌که وضعیت رطوبتی بالای منطقه و فاصله از رودخانه روی رویش و زادآوری طبیعی درختان تأثیر می‌گذارد. رویشگاه محلات نیز تحت تأثیر چشمه‌های آب گرم قرار می‌گیرند که جزو آب‌های زیرزمینی هستند که به‌دلیل فشار لایه‌های زیرین زمین، با سرعت متفاوت و دمای بالا به سطح زمین می‌رسند. شیا و همکاران (۲۰۲۵) تأثیر آب زیرزمینی بر رشد قطری درختان پده را گزارش کردند به طوری که رشد قطری درختان با افزایش عمق آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و تاب‌آوری درختان عمدتاً با افزایش شدت خشکسالی در فصل رشد و تغییرپذیری مقدار آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در فصل تابستان بیشتر می‌شود (۳۵). در رویشگاه‌های حاصلخیز و فاقد محدودیت منابع، درختان معمولاً به قطر و ابعاد بیشتری دست می‌یابند. در مقابل، درختان مستقر در رویشگاه‌های ضعیف و دارای محدودیت منابع، از قطر برابر سینه کمتری برخوردارند. با توجه به اینکه پده از طریق قلمه و به‌صورت غیرجنسی تکثیر می‌شود، انتخاب و تهیه قلمه از رویشگاه‌های غنی و دارای توان رویشی مناسب، از اهمیت زیادی برخوردار است.

رگرسیون خطی چندگانه: نتایج رگرسیون خطی چندگانه نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی بین صفات قطر و ارتفاع با حجم معنی‌دار است. مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۹۵۶ است که نشان می‌دهد ۹۶ درصد از واریانس متغیر حجم درخت توسط متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع به‌طور همزمان تبیین می‌شود. ضریب تعیین تعدیل‌شده نیز با مقدار ۰/۹۵۲، این یافته را تأیید می‌کند و نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل با داده‌ها است (جدول ۶). چنین سطحی از تبیین‌پذیری معمولاً نشان‌دهنده رابطه قوی آلومتریک بین ابعاد درخت (قطر و ارتفاع) و حجم است و کاربردپذیری مدل را برای برآورد سریع حجم در نهالستان یا رویشگاه‌های دست‌کاشت/طبیعی تقویت می‌کند (۳۶). به منظور بررسی استقلال مشاهدات (استقلال مقادیر باقی مانده یا خطاها) از یکدیگر از آزمون دوربین- واتسون استفاده شد. آماره دوربین–واتسن یک آماره آزمون می‌باشد که برای بررسی وجود خود همبستگی بین باقیمانده‌ها در تحلیل رگرسیون استفاده می‌گردد. در مدل رگرسیون، فرض بر این است که خطاهای مدل با یکدیگر وابستگی زمانی یا ساختاری ندارند و مقدار خطا در یک مشاهده نباید به خطای مشاهده بعدی وابسته باشد. اگر چنین وابستگی یا

الگوی تکرارشونده‌ای وجود داشته باشد، مدل رگرسیونی دچار خودهمبستگی است و نتایج آن به‌ویژه ضرایب استاندارد، آماره‌های t و سطح معناداری قابل اعتماد نخواهد بود و اگر حدود ۱/۵ تا ۲/۵ باشد معمولاً مناسب است. در تحقیق حاضر مقدار آماره آزمون دوربین–واتسون ۲/۱۶۶ به دست آمده است که نشان دهنده قابل اعتماد بودن نتایج است.

جدول ۶- نتایج تحلیل رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد حجم کل براساس قطر برابر سینه و ارتفاع با روش ورود همزمان متغیرها (Enter method)

Table 6. Results of multiple linear regression analysis for predicting total volume based on DBH and height using the enter method

ضریب همبستگی چندگانه R	ضریب تعیین R^2	ضریب تعیین تعدیل‌شده Adjusted R Square	خطای استاندارد برآورد Std. Error of the Estimate	آزمون دوربین–واتسون Durbin-Watson
0.978	0.956	0.952	0.929	2.166

برای ارزیابی معناداری کلی مدل رگرسیون، از آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون چندگانه به‌طور کلی از نظر آماری با مقدار آماره F برابر با ۲۹۰/۶۱ معنی‌دار است و حداقل یکی از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (قطر یا ارتفاع) رابطه معناداری با حجم درخت دارد (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی حجم کل

Table 7. Results of analysis of variance (ANOVA) for the regression model to predict total volume

مدل Model	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	آماره F	سطح معنی‌داری Sig.
رگرسیون Regression	501.18	2	250.59	290.61	0.000**
باقیمانده Residual	23.282	27	0.862		
کل Total	524.462	29			

جزئیات ضرایب رگرسیون برای هر یک از متغیرهای مستقل و عرض از مبدأ در جدول ۸ آورده شده است. عرض از مبدأ (Intercept): مقدار منفی و معنادار عرض از مبدأ (۲۰/۰۱۶–) نشان‌دهنده این است که در صورتی که قطر و ارتفاع صفر باشند (که در عمل این حالت وجود ندارد)، حجم پیش‌بینی شده منفی خواهد بود. این مقدار بیشتر جنبه آماری دارد. این مقدار عدد ثابت منفی در معادله معمولاً ناشی از ماهیت خطی مدل و دامنه داده‌های اندازه‌گیری‌شده است و الزاماً مفهوم زیستی مستقیمی در ابعاد

بسیار کوچک ندارد. بنابراین، توصیه می‌شود این معادله فقط در محدوده قطر و ارتفاع مشاهده‌شده در پژوهش حاضر به کار رود و برای تعمیم به دامنه‌های بسیار متفاوت مجدداً اعتبارسنجی شود. قطر برابر سینه: ضریب B برابر با ۴/۶۰۵ و سطح معنی‌داری آن کمتر از ۰/۰۰۰۱ است. این نشان می‌دهد که با افزایش یک واحد (سانتی‌متر) در قطر برابر سینه، حجم درخت به‌طور متوسط ۴/۶۰۵ واحد (مترمکعب در هکتار) افزایش می‌یابد، با فرض ثابت ماندن ارتفاع. این اثر از نظر آماری معنادار است. ارتفاع: ضریب B برابر با ۲/۳۲۸ و سطح معنی‌داری آن کمتر از ۰/۰۰۰۱ است. این بدان معناست که با افزایش یک واحد (متر) در ارتفاع، حجم درخت به‌طور متوسط ۲/۳۲۸ واحد (مترمکعب در هکتار) افزایش می‌یابد، با فرض ثابت ماندن قطر برابر سینه، این اثر نیز از نظر آماری معنادار است. هرچه قدر مطلق Beta بزرگ‌تر باشد، اثر آن متغیر قوی‌تر است و جدول ۸ نشان می‌دهد که قطر برابر سینه بهترین متغیر برآورد حجم نسبت به ارتفاع است. بررسی هم‌خطی بین متغیرهای مستقل با آماره‌های Tolerance و VIF نشان می‌دهد که همخطی شدید بین این متغیرها وجود ندارد. بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده، معادله رگرسیون چندگانه برای برآورد حجم درخت به صورت رابطه ۲ می‌باشد:

رابطهٔ ۲ $$V=-20.016+4.605\times D+2.328\times H$$

D: قطر برابرسینه بر حسب سانتی‌متر، H: ارتفاع کل درختان بر حسب متر، V: حجم درخت بر حسب مترمکعب در هکتار

جدول ۸ ضرایب رگرسیون و مقادیر آماری مدل پیش‌بینی حجم کل

Table 8. Regression coefficients and statistical parameters for the total volume prediction model

متغیرها Variables	ضرایب غیر استاندارد Unstandardized Coefficients (B)	خطای استاندارد ضرایب Std. Error	ضریب استاندارد Standardized Coefficients (Beta)	آماره t	سطح معنی‌داری Sig.	آماره‌های هم‌خطی Collinearity Statistics	
						Tolerance	VIF
ثابت Constant	-20.016	1.593	-	-12.561	0.000**	-	-
قطر برابر سینه DBH	4.605	0.382	0.751	12.055	0.000**	0.423	2.363
ارتفاع Height	2.328	0.526	0.276	4.426	0.000**	0.423	2.363

سطح مقطع تنه سهم بیشتری در افزایش حجم چوب نسبت به افزایش ارتفاع دارد. بنابراین، قطر برابر سینه به عنوان شاخصی عملی‌تر و حساس‌تر برای پایش عملکرد رشدی، انتخاب رویشگاه‌های برتر قلمه‌گیری و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی (مانند تعیین

فاصله کاشت مطلوب) اهمیت ویژه‌ای دارد. ارزیابی سریع عملکرد رویشگاه‌ها/پرووننانس‌ها و مقایسه بهره‌وری آنها، شرط لازم برای انتخاب مواد تکثیری مناسب و تخصیص بهینه منابع آب و مدیریت آبیاری است. مطالعات انجام‌شده بر روی گونه‌های مختلف صنوبر نیز نشان داده‌اند که قطر درخت نسبت به ارتفاع توان پیش‌بینی بیشتری برای برآورد حجم دارد و به‌عنوان متغیر کلیدی در بسیاری از مدل‌های آلومتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند این مطالعات مستقیماً بر روی گونه پده انجام نشده‌اند، اما با توجه به تعلق این گونه به جنس صنوبر، می‌توان از این الگوی عمومی برای تبیین نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش نیز بهره گرفت (۳۷، ۳۸ و ۳۹). در مجموع، نتایج رگرسیون این مطالعه تأیید می‌کند که قطر برابر سینه مهم‌ترین متغیر پیش‌بین حجم در درختان پده است و در کنار ارتفاع می‌تواند پایه یک ابزار ساده، دقیق و کم‌هزینه برای برآورد حجم و پایش عملکرد جنگل‌کاری‌ها باشد. از این رو، در برنامه‌های جنگل‌کاری و احیای رویشگاه‌های طبیعی پده، توصیه می‌شود مدیریت کاشت و داشت به‌گونه‌ای طراحی شود که دستیابی به قطر مطلوب تسهیل گردد، این امر از طریق انتخاب پرووننانس‌های برتر، تنظیم تراکم کاشت و مدیریت مناسب منابع آب قابل تحقق است

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، قلمه‌های تهیه‌شده از ۱۰ رویشگاه پده شامل بازرجان تفرش، جفتان تفرش، ارجرود ساوه، قلعتین ساوه، جلماجرد خمین، محلات، دزفول، گتوند، اصفهان و کرمان در شرایط نهالستان اراک بررسی شدند. نتایج نشان داد که بین رویشگاه‌های مختلف از نظر صفات رویشی و زیست‌سنجی اختلاف معنی‌دار وجود دارد و رویشگاه‌های بازرجان تفرش، ارجرود ساوه و محلات در مقایسه با سایر رویشگاه‌ها عملکرد بهتری از نظر رشد قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم داشتند. همچنین، نتایج مدل رگرسیونی نشان داد که متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع توان بالایی در تبیین حجم درخت دارند، به‌طوری‌که مدل برازش‌شده توانست ۹۵/۶ درصد از تغییرات حجم را تبیین کند (R^2= 0.956).

بر اساس نتایج این پژوهش، منشأ جغرافیایی قلمه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در توان رویشی نهال‌های پده دارد و همه رویشگاه‌ها برای تهیه قلمه و تولید نهال از پتانسیل یکسانی برخوردار نیستند. در شرایط اقلیمی سرد و نیمه‌خشک شهرستان اراک، رویشگاه‌های بازرجان تفرش، ارجرود ساوه و محلات مناسب‌ترین منابع برای تهیه قلمه و تولید نهال پده شناخته شدند، در حالی‌که قلمه‌های حاصل از رویشگاه‌هایی مانند جلماجرد خمین، جفتان تفرش، گتوند، دزفول، اصفهان و کرمان عملکرد

ضعیف‌تری نشان دادند. بنابراین، انتخاب صحیح رویشگاه مبدأ قلمه، عامل مهمی در موفقیت برنامه‌های احیا و توسعه پده‌زارها در شرایط مشابه اراک است. قلمه‌های تهیه شده از رویشگاه‌های بازرجان تفرش، ارجرود ساوه و محلات که جریان دائمی آب در حاشیه رودخانه برقرار است در شرایط عرصه کاشت در نهالستان اراک از رشد رویشی قطر برابر سینه و ارتفاع خوبی برخوردار بودند و در عرصه طبیعی نیز زادآوری طبیعی فراوان آنها مشاهده می‌شود ولیکن در سایر رویشگاه‌ها مانند جفتان تفرش و جلماجرد خمین جریان دائمی آب برقرار نیست و رودخانه کامل خشک شده است به‌ویژه در منطقه جلماجرد خمین که در محل تلاقی دو رود خرقاب و رود خمین واقع شده است که حتی زمین‌های کشاورزی منطقه نیز به‌دلیل نبود آب و شور شدن زمین دیگر قابلیت کشت و زرع ندارد. در وضعیت حاضر رویشگاه بازرجان تفرش که مناسب قلمه‌گیری است عواملی مانند قطع درختان، آتش‌سوزی و انباشت زباله به شدت این رویشگاه بومی پده‌زارها را تهدید می‌کند. قلمه‌های تهیه شده و نهال‌های تولیدی از رویشگاه‌های گرمسیری با مبادی جغرافیایی استان خوزستان (گتوند و دزفول)و از رویشگاه‌های اصفهان و کرمان در هنگام رشد در شرایط سرد و نیمه خشک شهرستان اراک، اختلاف معنی‌دار آماری با سایر نهال‌های تولیدی از رویشگاه‌های بومی استان مرکزی نشان دادند.

نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی برای انتخاب منابع مناسب قلمه، تولید نهال، احیای رویشگاه‌های تخریب‌شده و توسعه جنگل‌کاری‌های حاشیه رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین حفاظت از رویشگاه‌ها در برابر تهدیدهایی مانند قطع درختان، آتش‌سوزی و انباشت زباله، باید در اولویت اقدامات مدیریتی قرار گیرد.

با وجود نتایج کاربردی پژوهش حاضر، این مطالعه دارای محدودیت‌هایی نیز بود. نخست، تمرکز پژوهش بر صفات رویشی بود و شاخص‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی بررسی نشدند، بنابراین، تبیین دقیق‌تر منشأ تفاوت‌های مشاهده‌شده میان پرووننانس‌های مختلف پده نیازمند انجام مطالعات تکمیلی ژنتیکی و فیزیولوژیکی است. دوم، در محاسبه حجم درختان، ضریب شکل به‌صورت ثابت در نظر گرفته شد که می‌تواند بر دقت برآورد حجم اثرگذار باشد، ازاین‌رو، تعیین ضرایب شکل اختصاصی برای گونه پده در سنین، رویشگاه‌ها و شرایط رویشی مختلف می‌تواند به افزایش دقت برآورد حجم در مطالعات آینده کمک کند.

بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، تعیین روابط آلومتریک برای گونه پده با استفاده از مدل‌های مختلف رگرسیونی، بررسی عملکرد پروونانس‌ها در شرایط اقلیمی متفاوت و نیز مطالعه الگوی پراکنش مکانی و ویژگی‌های زیست‌سنجی این گونه در رویشگاه‌های طبیعی مورد توجه قرار گیرد. همچنین، مساحی، نقشه‌برداری و تعیین سطح پده‌زارهای کشور با استفاده از روش‌های میدانی و فناوری‌های نوین مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، می‌تواند اطلاعات پایه‌ای لازم را برای ارزیابی وضعیت موجود، پایش تغییرات، اولویت‌بندی مناطق حفاظتی و برنامه‌ریزی برای احیا و توسعه پده‌زارها فراهم کند. چنین مطالعاتی می‌تواند به درک بهتر ساختار، پویایی و پراکنش پده‌زارها و برنامه‌ریزی مؤثرتر برای حفاظت، احیا و توسعه این اکوسیستم‌های ارزشمند حاشیه رودخانه‌ای کمک کند.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی برگرفته از طرح با کد مصوب ۰۳۹-۹۹۰۶۰۱-۰۹-۰۹-۲۴ انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی بابت حمایت مالی از این پژوهش و همچنین از موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور اعلام می‌دارند.

منابع

1. Abdureyim, A., Dai, Y., Shi, Q., Zhang, F., Wan, Y., Shi, H., & Peng, L. (2023). Distinct impact of drought on radial growth at different heights and parts of *Populus euphratica* in the Oasis at the hinterland of the Taklimakan Desert. *Forests*. 14, 2338.

2. Ruisheng, Gu., & Dong, P. (2005). *Populus euphratica*, a tolerant model but endangered arborescent species. *Science Foundation in China*. 13(1), 51-54.

3. Zhu, L., Wang, J., Liu, H., Zhai, J., & Li, Z. (2024). Community assembly mechanisms of *Populus euphratica* in Northwest China and their relationship with environmental factors. *Plants*. 13(23), 3283.

4. Phan, C. T., Jorgensen, J., Jouve, L., Hausman, J. F., Polle, A., & Teichmann, T. (2004). Micropagation of *Populus euphratica* Olive. *Belgian Journal of Botany*. 137(2), 175 -180.

5. Ling, H. B., Zhang, P., Xu, H. L., & Zhao, X. F. (2015). How to regenerate and protect desert riparian *Populus euphratica* forest in arid areas. *Scientific Reports*. 5, 81–89.

6. Ndayambaza, B., Si, J., Deng, Y., Jia, B., He, X., Zhou, D., Wang, C., Zhu, X., Liu, Z., Qin, J., Wang, B., & Bai, X. (2023). The Euphrates poplar responses to abiotic stress and its unique traits in dry regions of China (Xinjiang and Inner Mongolia): What should we know? *Genes*. 14(12), 2213.

7. Masoumi, A. A., Asadi, M., & Hemmati, A. (2011). Flora of Iran: No. 74, The Willow Family (Salicaceae). Publications of the Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 92p. [In Persian]
8. Sabeti, H. (2008). Forests, trees, and shrubs of Iran. Yazd University Press, Yazd, 886 p. [In Persian]
9. Batooli, H. (2024). Habits and habitats of *Populus euphratica* Oliv. woodlands in sand dunes and deserts of Aran and Bidgol. *Iran Nature*. 9(3), 81-108. [In Persian]
10. Wan, Y., Peng, L., Li, H., Anwaier, A., Li, D., Ma, Y., Dai, Y., & Shi, Q. (2024). Water-use characteristics of *Populus euphratica* trees in response to flood and groundwater depth in desert oasis. *Environmental and Experimental Botany*. 226, 105915.
11. Calagari, M., Salehi shanjani, P., & Banj Shafiei, S. (2017). Growth comparison of two poplar species (*Populus alba* and *Populus euphratica*) and their hybrid in the saline and non-saline soils. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 30(1), 143-154. [In Persian]
12. Rottenberg, A., Nevo, E., & Zohary, D. (2000). Genetic variability in sexually dimorphic and monomorphic populations of *Populus euphratica* (Salicaceae). *Canadian Journal of Forest Research*. 30, 482-486.
13. Wiehle, M., Eusemann, P., Thevs, N., & Schnittler, M. (2009). Root suckering patterns in *Populus euphratica* (Euphrates poplar, Salicaceae). *Trees*. 23(5), 991-1001.
14. Ottow, E. A., Brinker, M., Teichmann, T., & Kaiser, E. W. 2005. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiology*. 139, 1762–1772.
15. Chen, Y., Li, W., Zhou, H., Chen, Y., Fu, A., & Ma, J. (2017). Experimental study on water transport observations of desert riparian forests in the lower reaches of the Tarim River in China. *International Journal of Biometeorology*. 61(6), 1055-1062.
16. Hesami, S. M., Calagari, M., & Ghorbani e Kahrizsangi, M. (2019). Study of growth and morphological characteristics of Euphrates poplar (*Populus euphratica* Oliv.) provenances in Shahid Fozveh experimental nursery. *Forest Research and Development*. 5(3), 483-496. [In Persian]
17. Rouhi-Moghaddam, E., Fakhireh, A., & Shoeibi, M. (2025). Autecology of the Euphrates poplar (*Populus euphratica* Oliv.) in the Sistan Plain, Iran. *ECOPERSIA*. 13(2), 153-164.
18. Calagari, M., Ghasemi, R., & Bagheri, R. (2010). Growth comparison of *Populus euphratica* Oliv. provenances in research station of Karadj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 18(1), 76-69.
19. Ahmadloo, F., Goodarzi, G., Salehi, A., & Scandari, S. (2022). Investigating the distribution of *Populus euphratica* fields in Markazi Province. *Iran Nature*. 7(5), 51-62.

20. Hooshangi, N., Rabiei, N., Ghaffari Rezin, M., & Mehri, S. (2021). Investigation of groundwater level changes in Markazi Province (1961–2018). *The 3rd Conference on Data Mining in Earth Science*, Arak, Iran. [In Persian]

21. Kord, B., Kord, B., & Khademi, A. (2009). Investigation of the effect of site conditions on fiber dimensions and physical properties of poplar wood. *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*. 4(2), 83–92.

22. Pliura, A., Yu, Q., Zhang, S. Y., MacKay, J., Périnet, P., & Bousquet, J. (2005). Variation in wood density and shrinkage and their relationship to growth of selected young poplar hybrid crosses. *Forest Science*. 51(5), 472–482.

23. Kramp, K., Schmitt, T., Lang, P., Jeschke, M., Schafer, P., Kulanek, D., Ximing, Z., Ruide, Y., & Thomas, F.M. (2018). Clones or no clones: genetic structure of riparian *Populus euphratica* forests in Central Asia. *Journal of Arid Land*. 10(5), 750-766.

24. Statistical Center of Iran. (2022). Statistical data and information: Statistical yearbook, Markazi province. 58p. [In Persian]

25. Choghaei, M. (2019). Executive plan of Arak nursery. Markazi Natural Resources and Watershed Administration, Forests, Range and Watershed Management Organization, Arak, 115p. [In Persian]

26. Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soil. *Agronomy Journal*. 54(5), 464-465.

27. Nelson, R. E. (1982). Carbonates and Gypsum: 181-197. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 2- chemical methods. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1390p.

28. Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total: 1085-1121. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, G. T. and Sumner, M. E. (Eds.). Methods of Soil Analysis Part 3– Chemical Methods, SSSA Book Series 5.3. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1390p.

29. Helmek, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium potassium, rubidium and cesium: 551-575. In: Sparks D. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1390p.

30. Rowell, D. L. (1994). Soil science: Methods and applications. Longman Scientific & Technical, Group UK Ltd, Harlow, Essex, UK, 350p.

31. Akhavan, R., Ahmadloo, F., Sadeghzadeh Hallaj, M. H., & Talebi, M. (2025). Development of volume tables for white poplar (*Populus alba* L.) trees using a non- destructive sampling in the Chaharmahal & Bakhtiari province of Iran. Journal of Wood and Forest Science and Technology. 32(4), 25-46.

32. Abidine, A. Z. E., Bouderrah, M., Lamhamedi, M. S., Mounir, F., & Lascoux, M. (2019). Vegetative propagation via cuttings of the Moroccan Euphrates poplar (*Populus euphratica* Oliv.) in the context of climate change. *Asian Journal of Plant and Soil Sciences*. 4(1), 7-15.

33. Gao, C., Chen, C., Liu, N., Liu, F., Su, X., Liu, C., & Huang, Q. (2024). Genetic diversity and association analysis of traits related to water-use efficiency and nitrogen-use efficiency of *Populus deltoides* based on SSR markers. *International Journal of Molecular Sciences.* 25(21), 11515.

34. Mohammadi, A., Calagari, M., Ladan-Moqaddam, A. R., & Mirakhori, R. (2013). Investigation on growth and physiological characteristics of *Populus euphratica* Oliv. provenances at Garmsar Desert Station. Iranian *Journal of Forest and Poplar Research*. 21(1), 115-125. [In Persian]

35. Xie, X., Chen, W., Pan, X., Wang, T., Che, J., Lv, Y., & Ye, M. (2025). Tree-ring-based analysis of *Populus euphratica* radial growth response to extreme drought across lower tarim river sections, Xinjiang, China. *Forests*. 16, 1311.

36. King, D. A. (2005). Linking tree form, allocation and growth with an allometrically explicit model. *Ecological Modelling*. 185 (1), 77-91.

37. Wiehle, M., Vornam, B., Wesche, K., Goenster, S., & Buerkert, A. (2016). Population structure and genetic diversity of *Populus laurifolia* in fragmented riparian gallery forests of the Mongolian Altai Mountains. *Flora*. 224, 112-122.

38. Hjelm, B., & Johansson, T. (2012). Volume equations for poplars growing on farmland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 27(6), 561–566.

39. Aminu, S. A., Daniel, S., & Yakubu, I. (2019). Tree volume equation for *Populus deltoides* (Poplar) tree under agroforestry based. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8(2), 1470-1475.

Effect of site origin on the growth of *Populus euphratica* Oliv. trees using cluster and regression analyses

Abstract

Background and objectives: Identifying suitable *Populus euphratica* Oliv. sites with high growth potential and vigor for cutting collection and vegetative propagation, as well as for the development of seedling cultivation in urban and rural green spaces and along field margins and irrigation canals, can play an important role in the expansion of green spaces, afforestation, ecosystem restoration, and carbon sequestration with multiple purposes. The objective of the present study is to investigate the effect of site origin on the growth traits of *P. euphratica* trees using cluster and regression analyses in order to clarify differences in site performance and to identify more suitable sites for cutting collection and seedling production for use in afforestation programs and the restoration of natural stands. In addition, an equation for estimating tree volume based on growth variables is presented.

Materials and methods: During the leaf-fall season, one-year-old branches were collected from natural bases of selected *P. euphratica* trees in sites of Markazi Province, and cuttings were prepared from these branches. For the sites of Khuzestan (Gotvand and Dezful) and the provinces of Isfahan and Kerman, cuttings were obtained from sprout-clumps derived from planted bases corresponding to these sites at the Alborz Research Station in Karaj. All collected cuttings were planted in the nursery of the Markazi Natural Resources and Watershed Administration, where one-year-old seedlings were produced. After seedling production in the nursery and land preparation in February 2021, the one-year-old seedlings originating from the 10 studied sites were planted in the Arak nursery field. The experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with three replications (blocks), and nine seedlings from each site were planted in each replication. Nursery maintenance practices during the experiment, including irrigation, cleaning of irrigation channels, weeding, pruning, soil mounding around seedlings, and removal of stump sprouts and root suckers, were carried out throughout the experimental period according to seedling requirements. At the end of the third year after planting, diameter at breast height (DBH) and total tree height were measured and recorded, and the standing tree volume was calculated. After calculating tree volume and considering the survival rate, volume per treatment was estimated based on planting spacing and converted to m^3 ha^{-1}. Data on quantitative growth traits were analyzed using two-way analysis of variance (Two-Way ANOVA), considering the main effects of site and block as well as their interaction. Furthermore, in order to examine the pattern of similarity and differences among sites, hierarchical cluster analysis (Cluster Analysis) was performed based on the data obtained from the combination of site and block (as replications) using JMP software and Ward's method. In addition, descriptive statistical indices of growth traits, including mean, standard deviation, standard error, and coefficient of variation, were calculated using the Distribution platform in JMP software. Moreover, to investigate the relationships among growth traits, regression analysis (Regression Analysis) was conducted in JMP software, considering tree volume as the dependent variable and diameter at breast height (DBH) and tree height as independent variables.

Results: In the third year after planting of seedlings in the Shahid Rajaei nursery field in Arak, the highest values for DBH, height, and total volume were observed for the Bazarjan site in Tafresh in block 3. The total volume ranged from a minimum of 5.95 m^3 ha^{-1} in block 3- Joftan site (Tafresh) to a maximum of 20.48 m^3 ha^{-1} in block 3- Bazarjan site (Tafresh). Hierarchical cluster analysis of the growth traits of *P. euphratica* trees was performed using Ward's method based on standardized data of DBH, height, and total volume. In this analysis, each site–block combination was considered as an observation unit, and the observation units were classified into five distinct clusters based on similarity in growth traits. Cluster 1 included samples with the best growth performance in terms of the three traits, with mean values of 5.31 cm for DBH, 5.22 m for height, and 16.82 m^3 ha^{-1} for volume. In contrast, Cluster 5 consisted of samples with the weakest growth performance, with mean values of 3.65 cm for DBH, 4.06 m for height, and 6.29 m^3 ha^{-1} for volume. Cluster 1 comprised the Bazarjan site in Tafresh (blocks 1, 2, and 3), Mahallat (blocks 1 and 2), and Arjrud in Saveh (blocks 2 and 3). Cluster 5 included the Dezful site (block 1), Ghalatein in Saveh and Jelmajerd in Khomein (block 2), Gotvand (blocks 2 and 3), Isfahan (block 2), and Joftan in Tafresh and Kerman (block 3). Clusters 2, 3, and 4 showed intermediate growth performance. The results of multiple linear regression indicated that the regression model for estimating tree volume based on DBH and height was significant at the 0.05 level. The coefficient of determination (R^2) was 0.956, indicating that approximately 96% of the variance in tree volume was jointly explained by DBH and height. The adjusted coefficient of determination (adjusted R^2= 0.952) further confirms the good fit of the model to the data. Based on the estimated coefficients, the multiple regression equation for estimating tree volume was derived as: $V=-20.016+4.605\times D+2.328\times H$.

Conclusion: The results of this study showed that the site origin of cuttings has a significant effect on the growth traits of *P. euphratica* trees. Some sites, including Bazarjan (Tafresh), Mahallat, and Arjrud (Saveh), exhibited better growth performance under the conditions of the Shahid Rajaei nursery in Arak compared with other sites. Therefore, careful selection of mother sites and the use of cuttings derived from stands with superior growth performance can increase the success of seedling production programs, green

space development, afforestation, and restoration of *P. euphratica* stands. Since cuttings from all sites were planted under the same nursery conditions, the observed differences in the growth of provenances can largely be attributed to genetic and ecological differences related to site origin; however, definitive confirmation of this requires further genetic and physiological studies. In addition, the regression results indicated that DBH and tree height, particularly DBH, are effective variables for estimating tree volume and can be used for monitoring growth and estimating wood production of this species. Considering the important role of DBH in volume estimation, maintaining appropriate planting spacing and density in seedling production and afforestation programs can lead to an increase in diameter growth and wood volume production in *P. euphratica* trees.

Keywords*:* Hierarchical cluster analysis, Regression coefficient, Seedling production, Site origin, Vegetative characteristics.