جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴
ص۶۸۵-۶۹۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۲۱

اثر هرس ریشه بر فیزیولوژی و مورفولوژی نهال ارس

(*Juniperus excelsa* M.Bieb.)

❖ **هادی درودی *؛** دانشجوی دکتری، گروه جنگل‌داری دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
❖ **ابراهیم خسروجردی؛** استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران
❖ **معصومه شهابی:** کارشناس‌ارشد مدیریت بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

به‌منظور بررسی اثر هرس ریشه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نهال‌های ارس، آزمایشی روی نهال‌های یکسالهٔ بازکاشتی آن انجام گرفت. تیمارهای اعمال‌شده شامل شدت هرس ریشه (۱. هرس ملایم (حدود ۸ سانتی‌متر انتهایی ریشه قطع شد)؛ ۲. هرس شدید (حدود ۱۵ سانتی‌متر انتهایی ریشه قطع شد)؛ ۳. شاهد (بدون هرس ریشه)) بوده است که در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. هر تیمار شامل سه تکرار و هر تکرار شامل ۲۰ نهال است (درمجموع ۱۸۰ نهال). نتایج بررسی‌ها نشان‌داد که هرس ریشه موجب بهبود کیفیت نهال، رشد ریشه و افزایش زنده‌مانی نهال‌ها شد. نتایج همبستگی‌ها نشان‌دادند که طول ریشه، قطر ریشه، بیوماس ریشه، بیوماس ساقه و بیوماس کل با شاخص کیفی نهال همبستگی معناداری دارند. با افزایش این عوامل، کیفیت نهال بهبود می‌یابد. همچنین، نسبت بیوماس ریشه به ساقه رابطهٔ مثبت معناداری با زنده‌مانی نهال‌ها دارد. زنده‌مانی نهال‌ها با افزایش نسبت ریشه به ساقه بهبود یافته است. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان عنوان کرد که ریشهٔ نهال‌های ارس از هرس‌پذیری خوبی برخوردارند و هرس ریشه، موجب بهبود وضعیت کیفی نهال‌های ارس می‌شود. همچنین، با توجه به اینکه بین شاخص کیفی نهال‌ها و قطر یقهٔ آن‌ها همبستگی به‌نسبت قوی وجود دارد و از طرفی سایر مشخصه‌های مهم از قبیل طول ریشه و بیوماس ریشه برای اندازه‌گیری مشکل است، می‌توان گفت که قطر یقه، شاخص مناسبی برای طبقه‌بندی کیفی نهال‌های ارس در نهالستان است.

واژگان کلیدی: ارس، زنده‌مانی، مورفولوژی، هرس ریشه.

* نویسندهٔ مسئول تلفن ۰۹۱۰۵۰۸۰۰۷۳
Email: hadi_f79@yhoo.com

مقدمه

سطح گسترده‌ای از اراضی کشورمان را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد (در حدود دوسوم). متوسط بارندگی در کشور حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال است. این مقدار بارش کمتر از یک‌سوم میانگین ریزش‌های سالانهٔ کرهٔ زمین است (بارش سالانهٔ جهان ۸۶۰ میلی‌متر است). از طرفی، انتشار زمانی نزولات آسمانی در ایران غیریکنواخت است و به‌طور عمده بارندگی‌ها در فصل زمستان صورت می‌گیرد [۱]. بنابراین، در جنگل‌کاری‌ها باید از گونه‌هایی استفاده کنیم که مقاومت کافی نسبت به خشکی داشته باشند. یکی از گونه‌های بومی که می‌تواند کمبود فضای سبز، احیای عرصه‌های تخریب‌یافته و همچنین کم‌آبی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک مناطق کوهستانی جبران کند گونهٔ ارس است. درخت ارس (*Juniperus excelsa*) درختی یک‌پایه، به‌ندرت دوپایه، از خانوادهٔ سرو *Cupressaceae*، یکی از معدود سوزنی‌برگان بومی ایران و همین‌طور از معدود درختان ناحیهٔ وسیع رویشی ایران و تورانی است. ارس گونه‌ای کم‌توقع (به لحاظ مواد تغذیه‌ای) است که مقاوم به خشکی، سرمای شدید، و آلودگی هواست [۲]. بردباری در سخت‌ترین شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، و هیدرولوژی از ویژگی‌های بارز این گونه است. شرایط جوی پیش‌بینی‌نشده که رشد بیشتر گیاهان را مختل می‌کند، اثر محدودی بر چرخهٔ زندگی آن دارد. بنابراین، جنگل‌کاری با این گونه به منظور کمک به حفظ و احیای توده‌های طبیعی آن و جبران کمبود فضای سبز و منابع آبی کشور حائز اهمیت است [۲].

تولید نهال‌های با کیفیت مناسب و ریشه‌های منشعب مستحکم یک چالش کلیدی در تولید نهال‌های گلدانی است. کیفیت سیستم ریشه‌ای یک عامل تعیین‌کننده در کیفیت کلی نهال‌های گلدانی است [۳]. تولید نهال‌های باکیفیت بهتر در استقرار توده‌های جنگلی اساسی است و به میزان زیادی تولید جنگل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، کیفیت نهال از اهمیت زیادی برخوردار است. چندین متغیر شامل طول ساقه، وضعیت ریشه، قطر یقه، نسبت ریشه به ساقه، بیوماس خشک و تر به میزان زیادی در ارزیابی کیفیت نهال استفاده می‌شوند [۴]. ناتوانی در تشخیص کیفیت نهال به‌منزلهٔ یک معیار کاشت به شکست خیلی از جنگل‌کاری‌ها و اقدامات احیایی منجر شده است. روش‌های ارزیابی کیفیت نهال‌های کاشته‌شده به بازنگری در روش‌های سنتی، یعنی نگاه‌کردن به سلامت ویژگی‌های مورفولوژیک نهال، نیاز دارد [۵]. این شاخص‌های مورفولوژیک اغلب در ارزیابی تفاوت‌های فیزیولوژیکی نهال شکست می‌خورند [۶]. بنابراین، ارزیابی کلی کیفیت پایه‌ها نیازمند ترکیب ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌هاست. مطالعات زیادی دربارهٔ کیفیت نهال بحث کرده‌اند، اما این مطالعات اغلب به بررسی مورفولوژی قسمت روزمینی و شادابی، و کمتر به کیفیت سیستم ریشه‌ای پرداخته‌اند. در بیشتر روش‌ها، این بدین دلیل است که اندازه‌گیری و آنالیز سیستم ریشه‌ای مشکل، زمان‌بر، مخرب، و کم‌دقت است [۷]. همانند مورفولوژی نهال، وضعیت فیزیولوژیکی سیستم ریشه‌ای نهال‌ها بر اثر اعمال مراقبتی نهالستان از قبیل کوددهی و آبیاری تغییر می‌کند. دورهٔ نوری، دمای رویش، اندازهٔ گلدان و

شکل گلدان همگـی وضـعیت فیزیولـوژیکی سیسـتم ریشه‌ای نهالی را که در آن رشد می‌کنـد تحـت تـأثیر قرار می‌دهند [۸]. برخی مزایای هرس ریشـه عبـارت است از: رشد ریشه‌های بیشتر در نزدیک سطح خـاک که درنتیجه فرصت بیشتری به نهال برای زنـده‌مانـدن می‌دهند، اصلاح ناهنجاری‌های ریشهٔ گیاهان، پراکنش یکنواخت‌تر و مؤثرتر ریشه‌ها، بهبود مورفولوژی نهال با کاهش رشد ساقه و افزایش رشـد ریشـه در اوایـل کاشت نهال. همچنین ریشه‌زایی و ریشه‌هـای جـانبی افزایش می‌یابد که درنهایت سبب استفادهٔ بهتر نهال از مناطق تغذیه‌ای و رطوبت خاک می‌شود.

دربارهٔ هـرس ریشـه در داخـل کشـور مطالعـاتی صورت گرفته است؛ از جمله می‌توان به تحقیق ثاقب طالبی و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد کـه بـه بررسـی روند رشد و اثر هرس ریشه بر رشد قطـری و طـولی نهال‌های بلندمازو در گیلان پرداختند. نتایج نشـان داد که هرس ریشه اثر معناداری بر ویژگی‌های کمّی (قطر و ارتفـاع) نهـال‌هـا دارد؛ بـه‌طـوری‌کـه در عمـق ۲۰ سانتی‌متری اثر مثبـت در افـزایش کمیـت‌هـای فـوق داشته است [۹]. قلـیچ‌خـانی و همکـاران (۲۰۰۶) بـه بررسـی اثـر هـرس ریشـهٔ عمـودی (۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری از محل یقه) بر رشد و زنده‌مانی نهال‌های بلندمازو پرداختند. نتایج ایشان نشـان داد کـه هـرس ریشه تأثیر معناداری بر رشد و زنـده‌مـانی نهـال‌هـای بلندمازو ندارد [۱۰]. کیانی و همکاران در سال ۲۰۰۶ به بررسی توان ریشه‌زایی نهال‌های کاج تدا در شرایط ریشهٔ لخت و گلدانی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که هرس ریشه اثر معناداری بر توان ریشه‌زایی نهال‌ها ندارد [۱۱]. در خارج کشور نیز، می‌توان به تحقیقـات بی‌یوز و دِی (۱۹۸۹) اشاره کـرد کـه بـه بررسـی اثـر هرس ریشه بر وضعیت نهال‌های نوئل سـیاه و نوئـل سفید و کاج پرداختند. هرس ریشـهٔ مورفولـوژی هـر سه گونه را در نهالستان به‌طور موفقیت‌آمیزی بـر اثـر کاهش ارتفاع و افزایش انـدازهٔ سیسـتم ریشـه بهبـود بخشید [۱۲]. اندرسون و همکـاران (۲۰۰۰)، رشـد و تخصیص بیوماس خشک در نهال‌های بلـوط قرمـز را بررسی کردند. هرس سیستم ریشه‌ای بیوماس خشک نهال‌ها را مطـابق بـا شـدت هـرس کـاهش داد. وزن خشـک سـاقه نسـبت بـه وزن خشـک ریشـه بیشـتر تحت‌تأثیر قرار گرفت [۱۳]. اندرسون در سـال ۲۰۰۱ به بررسـی اثـر هـرس ریشـه بـر رشـد و زنـده‌مـانی نهال‌های راش تحت شرایط رقابتی پرداختنـد. نتـایج نشان داد که ریشه‌های راش نباید قبل از کاشت هرس شوند [۱۴]. در سـال ۲۰۰۲، آلـدِرت و همکـاران بـه بررسی هرس شیمیایی بر مورفولوژی دو گونـهٔ کـاج مکزیکی پرداختند. نتایج، سودمندی هرس را آشـکار کرد [۱۵]. ساکالدیمی و همکاران (۲۰۰۶) به مطالعـهٔ اثر هرس شیمیایی بر رشد نهال‌هـای کـاج حلـب در نهالستان و سـپس ارزیـابی آن‌هـا پـس از کاشـت در عرصـه پرداختنـد. افـزایش غلظـت مـس در دیـوارهٔ گلدان‌ها، که سبب هرس شیمیایی می‌شود، به افزایش ارتفاع و قطر، بیوماس ساقه، و ریشه و شاخص کیفی نهال‌ها منجر شد. اما از نظر زنده‌مـانی بـین تیمـارهـا تفاوتی وجود نداشت [۱۶].

از جمله دلایل اهمیت این تحقیق می‌تـوان رشـد به‌نسبت کند ارس و دورهٔ به‌نسبت طولانی نگهـداری در گلدان را ذکر کرد. معمـولاً نهـال‌هـای ارس را تـا یک‌سالگی در زمین نگهـداری مـی‌کننـد و سـپس در فصل پاییز آن‌ها را، که در حدود ۷ تـا ۱۰ سـانتی‌متـر طـول دارنـد و طـول ریشـه‌ای در حـدود ۲۵ تـا ۳۰

سانتی‌متر دارند، به گلدان منتقل می‌کنند. از آنجا که رشد نهال‌های ارس به‌نسبت کم است، تا دو سال در گلدان نگهداری می‌شوند. به‌علت بلندی ریشهٔ نهال‌های بازکاشتی، ریشهٔ نهال‌ها تقریباً از همان ابتدا تا پایین گلدان می‌رسد. همچنین، به‌دلیل مدت به‌نسبت طولانی به‌طورمعمول نهال‌ها دچار بدفرمی و ناهنجاری‌های ریشه می‌شوند که سبب کاهش کیفیت نهال‌ها و پیچ‌خوردگی ریشهٔ نهال‌ها در پایین گلدان و ایجاد مشکل در هنگام انتقال نهال به عرصه به‌دلیل ریشه‌های بلند می‌شود. در این تحقیق، به بررسی میزان هرس‌پذیری و اثر هرس بر خواص فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نهال‌های ارس پرداخته شده است و اینکه آیا هرس ریشه سبب می‌شود تعداد ریشه‌های فرعی افزایش یابد یا خیر و همچنین آیا هرس ریشه سبب زنده‌مانی بهتر نهال‌ها می‌شود؟

مواد و روش‌ها

در آبان ۱۳۸۸، نهال‌های یک‌سالهٔ ریشه‌لخت تولیدشده در نهالستان هزارمسجد، جهت بازکاشت در گلدان به نهالستان طرق واقع در استان خراسان رضوی شهرستان مشهد وابسته به ادارهٔ کل منابع طبیعی (محل اجرای تحقیق) انتقال یافت. ارتفاع نهال‌ها ۸ـ۱۰ سانتی‌متر و طول ریشه در هنگام انتقال ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بود. سعی شد برای کسب نتایج بهتر، نهال‌های یکسانی از نظر اندازه انتخاب شوند. بدین‌منظور، آزمایشی با هدف بررسی اثر شدت هرس ریشه بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های ارس انجام گرفت. تیمار اعمال‌شده شامل شدت هرس ریشه (۱. هرس ملایم (حدود ۸ سانتی‌متر انتهایی ریشه قطع شد)؛ ۲. هرس شدید (حدود ۱۵ سانتی‌متر انتهایی ریشه قطع شد)؛ ۳. شاهد (بدون هرس ریشه)) بود. هر تیمار شامل سه تکرار و هر تکرار شامل ۲۰ نهال (در مجموع ۱۸۰ نهال) بود.

پراکنش تیمار و تکرارها به صورت تصادفی انجام شد. قطر دهانهٔ گلدان‌های استفاده‌شده ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاعشان ۳۰ ـ ۳۵ سانتی‌متر بود. آبیاری نهال‌ها همانند آبیاری رایج در نهالستان بود؛ بدین‌صورت که کارکنان با شیلنگ آبیاری می‌کردند. وجین گلدان‌ها نیز هر دو سه ماه یک بار انجام گرفت. اندازه‌گیری‌ها در دو زمان شامل مرحلهٔ اول اردیبهشت ۱۳۸۹ و مرحلهٔ دوم، آبان ۱۳۸۹ انجام شد.

فاکتورهای بررسی‌شده شامل درصد زنده‌مانی، ارتفاع، قطر یقه، قطر تاج نهال (متوسط قطر بزرگ و کوچک)، و طول ریشه با متر اندازه‌گیری شد. تعداد ریشه‌های ریز (کوچک‌تر از ۱ سانتی‌متر)، تعداد ریشه‌های بزرگ‌تر از ۱ سانتی‌متر، طول ریشهٔ اصلی، بیوماس ساقه، بیوماس ریشه، بیوماس کل، و ضریب لاغری شاخص کیفیت نهال است.

برای تعیین بیوماس خشک ساقه و ریشه از هر تکرار ۳ عدد نهال به‌طور تصادفی انتخاب شد. پس از خارج کردن نهال از گلدان، ریشه‌ها در داخل آب شست‌وشو شد. سپس ابتدا ساقه و ریشهٔ نهال‌ها از محل یقهٔ نهال قطع و نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت در آون قرار داده شد و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. قطر نهال‌ها با کولیس و طول ریشه و ساقهٔ نهال‌ها با متر اندازه‌گیری شد. شاخص کیفیت نهال‌ها هم با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد.

(۱)

$$\text{شاخص کیفی نهال} = \frac{\text{وزن خشک گیاه}}{\text{ضریب تنومندی} + \text{نسبت ساقه به ریشه}}$$ (Dickson et al., 1960)

(قطر یقهٔ ریشه (mm) / ارتفاع (cm))=ضریب تنومندی

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. تعیین نرمالیتی و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و لون انجام گرفت. برای مقایسه‌های کلی از آزمون تجزیهٔ واریانس و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. در موارد غیرهمگن (طول ریشه، بیوماس ساقه، و طول ریشهٔ فرعی) برای مقایسه‌های کلی از آزمون ولچ[1] و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانت T3 استفاده شد. برای بررسی زنده‌مانی، با استفاده از رابطهٔ ۲ تبدیل و تجزیه و تحلیل‌ها انجام گرفت.

$$ARCSIN\sqrt{X} \qquad (۲)$$

نتایج و بحث

نتایج بررسی آزمون تجزیهٔ واریانس فاکتورهای مختلف تحت‌تأثیر هرس ریشه نشان‌داد که از بین فاکتورهای مختلف فقط زنده‌مانی تحت‌تأثیر هرس ریشه تفاوت معناداری از خود نشان داده است و سایر فاکتورها تفاوت معناداری از خود نشان ندادند (جدول۱). همچنین، نتایج آزمون ولچ (برای مقایسه‌های کلی داده‌هایی که ناهمگن بودند از این آزمون استفاده شد) نشان داد که طول ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی بزرگ‌تر از ۱ سانتی‌متر تحت‌تأثیر هرس تفاوت معناداری نشان دادند (جدول ۲).

نتایج بررسی زنده‌مانی نهال‌ها با آزمون دانکن نیز نشان داد که تیمارهای هرس شدید و ملایم بیشترین زنده‌مانی و تیمار شاهد کمترین میزان زنده‌مانی را داشتند (جدول۳). سیستم ریشه‌ای نقشی کلیدی در غلبه بر تنش‌های آبی و استقرار گیاهان در مناطق بیابانی دارد [۱۷]. وضعیت ریشهٔ نهال از نظر کمی و کیفی نقش مهمی در استقرار نهال در عرصهٔ جنگل‌کاری دارد، زیرا اساساً زنده‌مانی نهال جنگلی مستلزم داشتن سیستم ریشه‌ای گسترده‌ای است که با جذب آب به مقدار کافی بتواند آب از دست رفتهٔ نهال را در نتیجهٔ تبخیر و تعرق جبران کند [۱۸].

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون دانت T3 (داده‌ها ناهمگن) نشان داد که طول ریشه در تیمار هرس شدید و هرس ملایم ریشه بیشترین مقدار و در شاهد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است (جدول۳). همان‌طور که در نتایج مشاهده می‌شود، هرس ریشه سبب افزایش طول ریشه در نهال‌ها شده است که با یافته‌های تساکالدیمی و همکاران (۲۰۰۶) و باردن و باورساکس (۱۹۸۹) مطابقت دارد [۱۶؛ ۱۹]. با هرس ریشه، ریشه‌ها پراکندگی بهتر و مؤثرتری در داخل بستر کاشت پیدا می‌کنند و ریشه‌ها در این روش مواد غذایی را به‌طور مؤثرتری دریافت می‌کنند [۱۵]. هرس ریشه، علاوه بر افزایش تعداد ریشه‌های فرعی، سبب ایجاد تقارن در سیستم ریشه‌ها می‌شود [۲۰] همچنین، هرس ریشه موجب تقویت و تحریک ریشه‌زایی در قسمت‌های سطحی‌تر نهال می‌شود [۲۱].

مقایسهٔ میانگین تعداد ریشه‌های فرعی بزرگ‌تر از ۱ سانتی‌متر با آزمون دانت T3 نشان داد که در تیمار هرس شدید ریشه و هرس ملایم ریشه بیشترین

1. Welch

مقدار و در شاهد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است (جدول۳). در زمینهٔ افزایش تعداد ریشه‌های فرعی با هرس ریشه، کارلسون و میلر (۱۹۹۰) نیز عنوان می‌کنند که برای تقویت و افزایش ریشه‌های فرعی و سهولت در درآوردن نهال از بستر خزانه به هرس ریشه اقدام می‌شود. هرس ریشه علاوه بر افزایش تعداد ریشه‌های فرعی، سبب ایجاد تقارن در سیستم ریشه‌ها می‌شود [۱۸]. تن و همکاران (۲۰۰۸) نیز در تحقیق خود روی نهال‌های گلدانی ۱+۰ نوئل سفید عنوان کردند رابطهٔ همبستگی خطی قوی بین تعداد ریشهٔ جدید پس از کاشت با زنده‌مانی، سلامتی سوزن‌ها، رشد ارتفاعی، و رشد قطری وجود دارد. آنان همبستگی قوی بین این کارکردها پس از کاشت در عرصه یافتند و همچنین، ریشه‌های جدید را عامل مهمی در موفقیت استقرار نهال در عرصه دانستند [۲۲].

برخلاف نتایج قلیچ‌خانی و همکاران (۲۰۰۶)، که هیچ اختلاف معناداری در میزان زنده‌مانی بلوط مشاهده نکردند، نتایج این تحقیق نشان داد که هرس ریشه سبب بهبود زنده‌مانی نهال‌های ارس شده است [۱۰] که این نتایج را می‌توان به بهبود وضعیت ریشه و اصلاح وضعیت ریشه و بهبود وضعیت ریشه‌دوانی نهال‌ها در داخل گلدان مربوط دانست. نهال‌های گلدانی هرچند که از نظر زمان کاشت محدودیت کمتری دارند، به لحاظ ویژگی‌های منفی آن‌ها، به‌خصوص پیچ‌خوردگی ریشه، می‌توانند از کیفیت جنگل‌های دست‌کاشت بکاهد. اعمال پرورشی که نسبت ریشه به ساقه (R/S)، تعداد ریشه‌های خرد، یا تلقیح میکوریزا را حداکثر می‌کنند، موفقیت استقرار در عرصه را افزایش می‌دهند [۲۳]. موفقیت استقرار نهال‌ها تا حد زیادی به توانایی آن‌ها در ایجاد ریشه‌های جدید بستگی دارد [۵]. کاهش شوک ناشی از انتقال به افزایش زنده‌مانی و رشد منجر می‌شود. توانایی پیش‌بینی مؤثر پتانسیل انتشارِ ریشهٔ نهال هنگام انتقال به میزان زیادی توانایی ما را در عرصه بهبود می‌بخشد [۷]. نتایج این تحقیق با نتایج بی‌یوز و دِی (۱۹۸۹) بر روی سه گونهٔ سوزنی برگ بورال مطابقت دارد [۱۲].

کیفیت مورد انتظار برای نهال‌ها در رویشگاه‌های مختلف متفاوت است، اما همهٔ آن‌ها به‌طور معمول سیستم ریشه‌ای به‌خوبی توسعه‌یافته با ریشه‌های فراوان دارند که ریشه‌های جدید به‌سرعت توسعه می‌یابند. در محیط‌های با شرایط متفاوت، از قبیل رویشگاه‌های خشک، سیلابی، شور یا دچار کمبود عناصر غذایی، فقط گیاهان به‌خوبی توسعه‌یافته فرصت خوبی برای زنده ماندن دارند. برای مناطق خشک‌تر تولید نهال‌های با ریشهٔ عمیق‌تر مناسب‌ترند [۲۴]. ویژگی‌های مورفولوژیکی، به‌خصوص ارتفاع و قطر تنه، معیارهایی از وضعیت نهال محسوب می‌شوند [۲۵]. در تحقیق حاضر، ضریب لاغری با اعمال هرس کاهش یافته است؛ اگرچه این تفاوت معنادار نبوده است. هرچه ضریب لاغری کمتر باشد، پایداری نهال بیشتر است. در این زمینه، عنوان شده که یک شاخص با مشکلات کمتر و غیرمخرب، ضریب تنومندی (Sturdiness) است که نسبت ارتفاع (Cm) را به قطر یقهٔ نهال (mm) مقایسه می‌کند. ضریب پایین نشان‌دهندهٔ گیاه تنومند با احتمال زیاد زنده‌مانی، به‌خصوص در مناطق بادگیر و خشک، است. مناسب‌ترین میزان ۶ است و ضریب تنومندی بالاتر از ۶ نامطلوب است [۲۴]. ریشه‌های

توسعه‌یافته‌تر سبب می‌شود در آینده احتمال بقای نهال در عرصه‌های جنگل‌کاری‌شده بیشتر باشد. در همین زمینه، هِیچ و شیور (۱۹۹۶) عنوان می‌کنند که نهال‌های با نسبت کمتر ساقه به ریشه زنده‌مانی بیشتری نسبت به نهال‌های بزرگ با نسبت ساقه به ریشهٔ بیشتر در مناطق خشک دارد. تعادل بین بیوماس ریشه و بیوماس ساقه به‌خصوص زمانی اهمیت دارد که نهال‌ها در نواحی یا فصولی کاشته شوند که استرس آبی شدید است و زنده‌مانی کمتری به دلیل وزن نسبی کم ریشه داشته باشند. بنابراین نهال‌های خیلی بلند، که وزن نسبی ریشهٔ کمی دارند، هنگامی که در مناطق با محدودیت آبی کاشته می‌شوند، زنده‌مانی کمتری دارند [۲۶]. الگوی کلی که در این مطالعه مشاهده شد این است که هنگامی که نهال‌های با قطر بزرگ‌تر (از نظر مورفولوژیکی بهبودیافته) به‌طور مناسبی کشت شوند، آن‌ها معمولاً از نهال‌های کوچک‌تر بهتر رشد می‌کنند [۲۷]. یکی از دلایلی که نهال‌های بزرگ‌تر رشد بیشتری از خود نشان می‌دهند این است که ریشه‌های جدید زیادی بلافاصله پس از کاشت تولید می‌کنند [۲۸]. از شاخص کیفی برای ارزیابی کیفی نهال استفاده می‌شود. در این تحقیق، نهال‌های با هرس شدید از شاخص کیفی بالاتری نسبت به دو تیمار دیگر برخوردار بودند؛ اگرچه این تفاوت نیز معنادار نبود. در مورد شاخص کیفی عنوان شده است که واکنش هر گیاه، بسته به مقدار عناصر تغذیه‌ای خاک، عوامل ژنتیکی، محیطی، فرایندهای متابولیسمی و شرایط فیزیولوژیکی درونی گیاه متفاوت است [۲۹].

جدول۱. نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس فاکتورهای بررسی‌شده تحت تیمارهای مختلف

فاکتور	مجموع مربعات	Df	میانگین مربعات	F	Sig.
تعداد ریشه‌های ریز (کوچک‌تر از ۱Cm)	۷۱۱۰/۲۲	۲	۳۵۵۵/۱۱	۰/۱۹۵	۰/۸۲۸ ns
قطر ریشهٔ نهال	۰/۲۰۹	۲	۰/۱۰۵	۰/۴۴۸	۰/۶۵۹ ns
طول ریشهٔ اصلی	۴/۶۶۷	۲	۲/۳۳۳	۰/۰۵۱	۰/۹۵۱ ns
بیوماس ریشه	۰/۴۴	۲	۰/۲۲	۱/۲۹	۰/۳۴۲ ns
قطر یقه	۰/۳۵۵	۲	۰/۱۷۷	۰/۵۴۸	۰/۶۰۵ ns
ارتفاع نهال	۲/۲۹۸	۲	۱/۱۴۹	۱/۲۰۶	۰/۳۶۳ ns
قطر تاج	۰/۲۸۱	۲	۰/۱۴	۰/۵۴۷	۰/۶۰۵ ns
رویش ارتفاعی	۴/۹۰۱	۲	۲/۴۵۱	۱/۳۲۳	۰/۳۳۴ ns
رویش قطرتاج	۰/۵۷۳	۲	۰/۲۸۷	۰/۸۶۷	۰/۴۶۴ ns
نسبت بیوماس ریشه به ساقه	۰/۱۲۴	۲	۰/۰۶۲	۴/۴۵۳	۰/۰۶ ns
بیوماس کل	۳/۳۰۸	۲	۱/۶۵۴	۱/۵۱۵	۰/۲۹۳ ns
ضریب لاغری	۰/۰۱۸	۲	۰/۰۰۹	۰/۰۶۵	۰/۹۳۸ ns
شاخص کیفیت	۰/۰۵۵	۲	۰/۰۲۸	۰/۸۸۲	۰/۴۶۱ ns
زنده‌مانی	۰/۱۶۱	۲	۰/۰۸	۵/۲۸۶	۰/۰۴۷*

*بیانگر وجود اختلاف در سطح ۵ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف در سطح ۵ درصد

جدول۲. نتایج آنالیز فاکتورهای مختلف به‌وسیلهٔ آزمون ولچ

فاکتور	آماره	df1	df2	Sig.
طول ریشه	۲۴/۶۳۶	۲	۳/۲۲	۰/۰۱۱*
بیوماس ساقه	۳/۳۸۴	۲	۲/۸۹۷	۰/۱۷۵ ns
تعداد ریشهٔ فرعی (>1Cm)	۱۰/۷۱۲	۲	۳/۶۱۷	۰/۰۳*

*بیانگر وجود اختلاف در سطح ۵ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف در سطح ۵ درصد

جدول۳. نتایج مقایسهٔ میانگین‌های فاکتورهای مختلف اندازه‌گیری‌شده تحت تأثیر تیمار هرس ریشه

فاکتور	مقادیر میانگین‌ها		
	شاهد	هرس شدید	هرس ملایم
طول کل ریشه (Cm)	۴۶۶/۸۳± ۱۵/۵۰b	۷۳۶/۰۷± ۳۱/۲۲a	۵۵۴/۴۶± ۹۵/۷۳ab
تعداد ریشه‌های ریز	۳۵۵/۶۶± ۸۱/۱۹	۳۳۱± ۵۲/۸۱	۳۹۹± ۹۴/۱۱
قطر ریشهٔ نهال (mm)	۳/۱۵± ۰/۲۶	۳/۵۲± ۰/۲۱	۳/۳۲± ۰/۳۵
طول ریشهٔ اصلی (Cm)	۴۱/۶۶± ۴/۶۳	۴۲± ۳/۷۸	۴۰/۳۳± ۳/۱۷
تعداد ریشهٔ فرعی (>1Cm)	۹۸± ۱۱/۵۳b	۱۷۱/۶۶± ۹/۰۶a	۱۳۲± ۲۹/۵ab
بیوماس ریشه (g)	۱/۵۲± ۰/۲۶	۱/۹۸± ۰/۱۳	۱/۵± ۰/۲۹
قطر ساقه (mm)	۳/۳± ۰/۱۱	۳/۷۶± ۰/۳	۳/۳۹± ۰/۴۷
ارتفاع نهال (Cm)	۱۴/۶۵± ۰/۲۵	۱۶/۳۲± ۰/۹۴	۱۵/۷۲± ۰/۹۱
قطر تاج (Cm)	۷/۷± ۰/۲۲	۷/۲۷± ۰/۳۸	۷/۴۴± ۰/۲۵
رویش ارتفاعی (Cm)	۸/۳۳± ۰/۳	۱۰/۱۳± ۰/۷۶	۹/۳۴± ۱/۰۹
رویش قطر تاج (Cm)	۲/۱۵± ۰/۱۹	۱/۷۵± ۰/۴۵	۱/۵۵± ۰/۲۹
بیوماس ساقه (g)	۳/۴± ۰/۶۷	۲/۸۲± ۰/۰۷	۲/۰۸± ۰/۲۶
نسبت بیوماس ریشه به ساقه	۰/۴۵± ۰/۰۵	۰/۷± ۰/۰۶	۰/۷۱± ۰/۰۹
بیوماس کل (g)	۴/۹۲± ۰/۹	۴/۸± ۰/۰۹	۳/۵۸± ۰/۵۲
ضریب لاغری	۴/۴۵± ۰/۱۸	۴/۳۶± ۰/۱۴	۴/۳۵± ۰/۳
شاخص کیفیت	۰/۷۳± ۰/۱۱	۰/۸۳± ۰/۰۳۵	۰/۶۴± ۰/۱۳۴
زنده‌مانی	۴۸/۳۳± ۹/۲۷b	۶۸/۳۳±۶ ab	۷۸/۳۳± ۳/۳۳a

حروف غیرمشترک بیانگر تفاوت معنادار بین میانگین‌هاست.

جدول ۶. نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین فاکتورهای مختلف ریشه و ساقهٔ نهال

	طول ریشه	تعداد ریشه‌های ریز	قطر ریشهٔ نهال	بیوماس ریشه	تعداد ریشهٔ فرعی (>۱Cm)	طول ریشهٔ اصلی	قطر یقه	ارتفاع نهال	رویش ارتفاعی	قطر تاج	رویش قطر تاج	بیوماس ساقه	نسبت بیوماس ریشه به ساقه	بیوماس کل	ضریب لاغری	شاخص کیفیت	زنده‌مانی
طول ریشه	۱																
تعداد ریشه‌های ریز	۰/۳۹	۱															
قطر ریشهٔ نهال	۰/۴۲	۰/۱۸	۱														
بیوماس ریشه	۰/۷۷*	۰/۵	۰/۶۹*	۱													
تعداد ریشهٔ فرعی (>۱Cm)	۰/۹۴**	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۷۷*	۱												
طول ریشهٔ اصلی	-۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲۴	-۰/۱۳	۱											
قطر یقه	۰/۶۹*	۰/۳۸	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۵۲	-۰/۱۸	۱										
ارتفاع نهال	۰/۳۲	-۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۱۵	۰/۴۳	۰/۵	۱									
رویش ارتفاعی	۰/۳۲	-۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۳	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۴۶	۰/۹۵**	۱								
قطر تاج	۰/۴۶۵	۰/۱۷	۰/۰۹۱	۰/۵۲	۰/۲۸	-۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۱۵	۰/۲۳	۱							
رویش قطر تاج	-۰/۲۷	-۰/۲۳	-۰/۵۷	-۰/۴۳	-۰/۱۹	-۰/۴	-۰/۵۹	۰/۸۲**	-۰/۶۵	۰/۰۴۹	۱						
بیوماس ساقه	۰/۰۵	۰/۴	۰/۲۷	۰/۴۵	۰/۰۳	۰/۳۸	۰/۰۵	-۰/۲۲	-۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۱۳	۱					
نسبت بیوماس ریشه به ساقه	۰/۶	۰/۱۴	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۶۱	-۰/۱۳	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۰۹	-۰/۵۹	-۰/۵۶	۱				
بیوماس کل	۰/۳۴	۰/۵	۰/۴۷	۰/۷۳*	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۲۹	-۰/۰۲	-۰/۱۳	-۰/۴۷	-۰/۰۶	۰/۹۴**	-۰/۲۵	۱			
ضریب لاغری	-۰/۴۶	-۰/۳۱	-۰/۳	-۰/۲۴	-۰/۳۴	۰/۵۸	-۰/۸۵**	-۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۱۵	-۰/۳۷	۰/۰۳	۱		
شاخص کیفیت	۰/۶۶*	۰/۵۷	۰/۶۹*	۰/۹۴**	۰/۶۳	۰/۲۱	۰/۶۵	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۵۸	۰/۳۵	۰/۶۷*	۰/۲	۰/۸۸**	-۰/۳۲	۱	
زنده‌مانی	۰/۲۶	۰/۰۲	-۰/۲۳	-۰/۱۹	۰/۱۸	-۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۵۵	-۰/۲۴	-۰/۲۸	-۰/۸۳*	۰/۶۷*	-۰/۷۱*	-۰/۱۸	-۰/۴۲	۱

نتایج بررسی همبستگی فاکتورهای مختلف ریشه و ساقهٔ نهال‌ها با آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بیوماس ریشهٔ نهال با طول و قطر ریشه، طول ریشه‌های کمتر از ۱ سانتی‌متر با طول و بیوماس ریشه، قطر ساقه با طول ریشهٔ نهال، رویش ارتفاعی و تاجی با ارتفاع نهال، بیوماس کل با بیوماس ریشه و ساقه، شاخص کیفی با طول، قطر و ریشهٔ نهال به‌علاوه بیوماس ساقه و بیوماس کل و زنده‌مانی با نسبت بیوماس ریشه به ساقه همبستگی مثبت معناداری دارد. از سویی بین ضریب لاغری با ارتفاع نهال و بین درصد زنده‌مانی با بیوماس ساقه و بیوماس کل همبستگی منفی معناداری وجود دارد (جدول۴).

طول ریشه، قطر ریشه، بیوماس ریشه، بیوماس ساقه، و بیوماس کل با شاخص کیفی رویشگاه همبستگی معناداری دارند و با افزیش این عوامل کیفیت نهال بهبود می‌یابد. که علت آن را می‌توان توانایی بیشتر نهال در جذب آب و عناصر غذایی خاک با افزایش طول ریشه و سایر مشخصات ریشه عنوان کرد. درختان انرژی زیادی را صرف تولید و نوسازی ریشه‌ها می‌کنند و ریشه‌ها نیز مواد هیدروکربنه، ویتامین، و اسیدهای آمینه از خود ترشح می‌کنند که موجب فعالیت باکتری‌ها و درنتیجه تقویت جذب مواد و رشد گیاه می‌شوند. این امر موجب کاهش نسبت ریشه به ساقه و گسترش ریشه‌های جانبی و ایجاد نظام ریشه‌ای فشرده و ظریف‌تری می‌شود که در استقرار و رشد بعدی نهال‌ها اثر مثبت دارد [۹]. نتایج همبستگی‌ها نشان داد که نسبت بیوماس ریشه به ساقه رابطهٔ مثبت معناداری با زنده‌مانی نهال‌ها دارد. زنده‌مانی نهال‌ها با افزایش این عامل بهبود یافته است. شاید علت این امر افزایش میزان ریشه‌دوانی نهال‌ها و درنتیجه بهبود وضعیت جذب عناصر غذایی و آب باشد. از طرفی، کاهش میزان تبخیر و تعرق نهال نسبت به میزان جذب رطوبت، با کاهش نسبت ساقه به ریشه است. در همین زمینه، عنوان شده است که تراکم ریشه‌های جذب‌کننده به میزان زیادی مقادیر آب و مواد غذایی جذب‌شده را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد [۶]. تعادل مناسب بین نسبت ساقه به ریشه یک خصوصیت مورفولوژیکی مهم است، زیرا یک معیاری از میزان از دست دادن آب نهال و توانایی جذب آب نهال در زمان کاشت است [۳۰].

نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث و نتایج بررسی زنده‌مانی و شاخص کیفی نهال‌ها نشان‌دهندهٔ هرس‌پذیری مناسب ریشهٔ نهال‌های ارس است. با توجه به نتایج این تحقیق و نتایج سایر محققان می‌توان گفت که جهت بهبود وضعیت سیستم ریشه‌ای در نهالستان و کاهش تلفات ناشی از ناهنجاری نهال‌ها در داخل گلدان و آماده‌سازی آن‌ها جهت استقرار بهتر در عرصه (بهبود سیستم ریشه‌ای و نسبت ریشه به ساقه سبب افزایش توانایی آن‌ها برای مقابله با استرس ناشی از انتقال نهال به عرصه می‌شود) هرس ریشه ضروری است. درنتیجه، با هرس ریشه می‌توان به میزان زیادی به استقرار بهتر نهال‌ها در نهالستان و در عرصه کمک کرد و از این طریق در هزینه‌های جنگل‌کاری‌ها صرفه‌جویی کرد. از آنجا که بین شاخص کیفی نهال‌ها و قطر یقهٔ آن‌ها همبستگی به‌نسبت زیادی وجود دارد (۰/۶۵)، و از طرفی مشخصه‌های مهم دیگر از قبیل

طول ریشه و بیوماس ریشه برای اندازه‌گیری مشکل است، می‌توان گفت که قطر یقه شاخص مناسبی برای طبقه‌بندی کیفی نهال‌های ارس در نهالستان است.

سپاسگزاری: بدین وسیله از مسئولان ادارهٔ کل منابع طبیعی خراسان رضوی و کارکنان نهالستان طرق برای همکاری صمیمانه‌شان در اجرای تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

References

[1]. Azadbakht, B., and Norouzi, Gh. (2009). Geography of Iran Waters, National Geographical Organization, Ministry of Defense Press, Tehran, 302p.

[2]. Korouri, S., and Khoshnevis, M. (2001). Ecological and Environmental Studies of Iranian Juniper Habitats, Research Institute of Forests and Rangelands press, Number 229, 208 p.

[3]. Zue. L.G., Yan, P., and Jian, X.Y. (2012). Research on techniques for root control of container seedlings in China and Abroad. Journal of Eucalypt Science & Technology. 29(2): 47-52.

[4]. Mohamed, E. A. (2013). Growth performance and physiological characteristics of seedlings of six tropical dry land forest tree species in the Sudan. Journal of Natural Resources and Environmental Studies, 1(2): 25- 33.

[5]. Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. New Forests Journal, 30:273–294.

[6]. Gazal, R. M., and Kubiske, M. E. (2004). Influence of initial root characteristics on physiological responses of Cherrybark oak and Shumard oak seedlings to field drought conditions. Journal of Forest Ecological Management, 189, 295–305.

[7]. Davis, A. S., and Jacobs, D. F. (2005). Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. Journal of New Forests, 30:295–311.

[8]. Bigras F.J., and D'Aoust, A. L. (1993). Influence of photoperiod on shoot and root frost tolerance and bud phenology of white spruce seedlings (*Picea glauca*). Canadian Journal of Forest Researches, 23: 219–228.

[9]. Sagheb Talebi, Kh., Hemati, A., Khanjani Shirazi, B., Siahipour, Z., and Akbarzadeh, A. (2009). Architectural model and impact of root pruning on diameter and height growth of Oak (*Quercus castaneifolia*) seedlings (Pilambara_Guilan). Journal of Iranian Natural Resources, 61(4): 867-876.

[10]. Ghalichkhani, M., Tabari, M., Akbarinia, M., Espahbodi, K., and Jalali, Gh. (2006). Surveying of light intensity and root pruning on survival and vitality of *Quercus castaneifolia*. Journal of Pajouhesh va Sazandegi in Natural Resources, 69: 82-86.

[11]. Kiani, B., Rostami Shahraji, T., and Taheri, F. (2006). Study of rooting capability of *Pinus taeda* in bare root and pot conditions. Iranian Journal of Natural Resources, 58(2): 333-338.

[12]. Buse, L. J., and Day, R. J. (1989). Conditioning three boreal conifers by root pruning and wrenching. Tree Planters Notes, Spring: 33- 39.

[13]. Andersen, L., Rasmussen, H. N., and Brander, P. E. (2000). Regrowth and dry matter allocation in *Quercus robur* (L.) seedlings root pruned prior to transplanting. New Forests Journal, 19: 205–213.

[14]. Andersen, L. (2001). Survival and growth of *Fagus sylvatica* seedlings root-pruned prior to transplanting under competitive conditions. Scandinavian Journal of Forest Research, 16:4. 318 – 323.

[15]. Aldrete, A., Mexal, J. G., Phillips, R., and Vallotton, A. D. (2002). Copper coated polybags improve seedling morphology for two nursery-grown Mexican pine species. Journal of Forest Ecology and Management, 163: 197–204.

[16]. Tsakaldimi, M. N., and Ganatsas, P. P. (2006). Effect of chemical root pruning on stem growth,

root morphology and field performance of the Mediterranean pine *Pinus halepensis* Mill. Scientia Horticulturae Journal, 109: 183–189.

[17]. WeiGui, D., Zeng, F, J., Liu, Z., and Zhang, B. (2013). Root characteristics of *Alhagi sparsifolia* seedlings in response to water supplement in an arid region, northwestern China. Journal of Arid Land, 5(4): 542−551

[18]. Carlson, W. C., and Miller, D. E. (1990). Target seedling root system size hydraulic conductivity and water use during seedling establishment. Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Association's Target Seedling Symposium. Pp: 79-90.

[19]. Barden, C. J., and Bowersox, T. W. (1989). The effect of root pruning treatments on red oak seedling root growth capacity. In: Seventh central hardwoods forest conference. March 5-8 Carbondale.

[20]. Ritchie Gary, A., and Tanaka, Y. (1990). Root growth potential and the target seedling. national nursery proceedings. In: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Association's Target Seedling Symposium, Pp: 37-51.

[21]. Durey, M. L., and Landis, T. S. D. (1994). Forest Nurseries Manual, Production of Bare roots Seedlings. Martinus Nijhoff / Dr. W. junk Publishers. 384 p.

[22]. Tan, W., Blanton, S., and Bielech, J. P. (2008). Summer planting performance of white spruce 1 + 0 container seedlings affected by nursery short-day treatment. New Forests, 35:187–205.

[23]. Chapman, W. K. (1991). Inoculation of Ectomycorrhizal Fungi in the IDFdk2 Biogeoclimatic Zone of British Columbia: New Techniques, Fungi and Outplanting Trials, PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 187 p.

[24]. Jaenicke, H. (1999). Good Tree Nursery Practices, Practical Guidelines for Research Nurseries, ICRAF, Nairobi, Pp: 8–15.

[25]. Deligoz, A. (2012). Morphological and physiological differences between bareroot and container *Juniperus excelsa* seedlings. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 36: 619-628.

[26]. Hitch, K.L., Shiver, B.D., and Borders, B.E. (1996). Mortality models for newly regenerated loblolly pine plantations in the Georgia Piedmont. Southern Journal of Applied Forestry, 20: 197–202.

[27]. South, D.B., Harris, S.W., Barnett, J.P., Hainds, M.J., and Gjerstad, D.H. (2005). Effect of container type and seedling size growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. Journal of Forest Ecology and Management, 204: 385–398.

[28]. Navarro, R, M., Retamosa, M, J., Lopez, J., Del Campo, A., Ceaceros, C., and Samoral, L. (2006). Nursery practices and field performance for the endangered Mediterranean species *Abies pinsapo* Boiss. Ecological Engineering Journal, 27: 93–99.

[29]. Robinson, D.E., Wagner, R.G., and Swanton, C.J. (2002). Effects of nitrogen on the growth of Jack pine competing with Canada blue-joint grass and large-leaved aster. Journal of Forest Ecology and Management, 160: 233-242.

[30]. Grossnickle, S.C., Major, J.E., Arnott, J.T., and Lemay, V.M. (1991). Stock quality assessment through an integrated approach. New Forests Journal, 5: 77–91