

شبیه‌سازی اثر افزایش دما و کاهش تاج‌بارش بر نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های ممرز و بلندمازو

معصومه ایزدی^۱، هاشم حبشی^{۲*}، معصومه شایان‌مهر^۳، رامین رحمانی^۴ و فاطمه رفیعی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (m.izadi460@yahoo.com)
- ۲- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (habashi@gau.ac.ir)
- ۳- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (shayanm30@yahoo.com)
- ۴- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (dr_ramin99@yahoo.com)
- ۵- دکتری بیولوژی خاک جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (rafiee.f@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده

نرخ تجزیه لاشبرگ تحت تأثیر عوامل مختلفی چون شرایط اقلیمی، کیفیت لاشبرگ و جمعیت تجزیه‌کنندگان است. افزایش دمای هوا و تغییر الگوی بارش، مهم‌ترین پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم است که می‌تواند فرآیند تجزیه لاشبرگ را تغییر دهد. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی اثر توأم کاهش تاج‌بارش و افزایش دما در روند تجزیه لاشبرگ دو گونه ممرز و بلندمازو در توده بلوط-ممرز است. چهار تیمار شامل دو تیمار ترکیبی کاهش تاج‌بارش ۲۵ و ۵۰ درصد همراه با افزایش دمای هوا، یک تیمار حرارتی (صرفاً افزایش دما) و یک تیمار شاهد (شرایط طبیعی) طراحی و در عرصه پژوهش اعمال شدند. نرخ تجزیه لاشبرگ ممرز و بلندمازو هر تیمار در کیسه‌های لاشبرگی طی مدت ۲۰۰ روز بررسی شد. میانگین دمای خاک تیمارها طی مدت پژوهش به‌طور متوسط ۰/۲-۰/۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر از تیمار شاهد بود که منجر به کاهش ۱۳ درصدی محتوای رطوبت خاک شد. اثر ترکیبی افزایش حرارت و کاهش رطوبت خاک منجر به افزایش معنی‌دار نرخ تجزیه لاشبرگ ممرز به‌ویژه در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد شد. باگذشت زمان، نرخ تجزیه تیمار شاهد کاهش اما نرخ تجزیه لاشبرگ بلندمازو در تیمار ۲۵ درصد افزایش یافت. نتایج پژوهش نشان داد نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های ترموفیل (بلندمازو) در شرایط تغییر اقلیم (افزایش دما و کاهش بارش) افزایش خواهد یافت که منجر به افزایش نرخ تبادل غذایی خواهد شد از این‌رو در جنگل‌هایی با خاک حاصلخیز امکان کوتاه‌شدن دوره برداشت فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حرارت خاک، دست‌کاری اقلیمی، رطوبت خاک، کیسه لاشبرگ، نرخ کاهش لاشبرگ.

مقدمه

تجزیه تأثیر منفی می‌گذارد. با توجه به موارد فوق قابل‌انتظار است که نرخ تجزیه دارای تغییرات فصلی باشد، چنانکه Kumar et al. (2012) تغییرات فصلی قابل‌توجهی را بر نرخ تجزیه لاشبرگ ثبت کردند.

گونه‌های بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و ممرز (*Carpinus betulus*) به ترتیب با اختصاص ۷/۸ و ۳۰/۴ درصد از حجم سرپا، از گونه‌های مهم درختی جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شوند. از نظر کیفیت لاشبرگ گونه بلندمازو در گروه گونه‌های درختی با اصلاح‌کنندگی متوسط خاک و ممرز در گروه گونه‌هایی با اصلاح‌کنندگی بالا قرار دارند (Jamaludheen and Kumar, 1999). Kianmehr et al. (2019) بیشترین ورودی نیتروژن را در توده ممرز مشاهده کردند که علت آن را غلظت زیاد این عنصر در لاشبرگ گونه ممرز بیان کرده‌اند. بر اساس گزارش Babaen et al. (2010) با توجه به قرار گرفتن ایران در نوار خشک کره زمین، بر اساس نتایج مدل گردشی عمومی جو ECHO-G طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی، میانگین دما حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت، ضمن اینکه بیشترین مقدار افزایش ماهانه دما در ماه‌های سرد سال رخ خواهد داد. یکی از اصلی‌ترین روش‌های مورد استفاده در پژوهش‌های جهانی تغییر اقلیم، آزمایش‌های ایجاد گرمایش مصنوعی است (Shen and Harte, 2000). استفاده از چمبرهای روباز، لوله‌ها و کابل‌های گرمایش خاک، بازتابنده‌های مادون قرمز و رادیاتورهای مادون قرمز از فنون شبیه‌سازی افزایش دمای هوا در بوم‌سازگان خشکی است که در میان آن‌ها استفاده از چمبرهای روباز را کم‌هزینه‌ترین روش معرفی کرده‌اند (Sun et al., 2013). برای درک بهتر نرخ تجزیه لاشبرگ نسبت به تغییر اقلیمی در این پژوهش از ادغام چمبر روباز و کاهش تاج‌بارش برای شبیه‌سازی

تجزیه لاشبرگ یکی از فرآیندهای مهم در چرخه مواد غذایی است که برای بهبود عملکرد بوم‌سازگان ضروری است (Margesin et al., 2016). به دلیل معدنی‌شدن مواد آلی در فرآیند تجزیه لاشبرزه، هرگونه تغییری در این فرآیند منجر به تغییر چرخه کربن، عناصر غذایی خاک و رشد درختان در بوم-سازگان خشکی می‌شود (Geethanjali and Jayashankar, 2016). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده تجزیه مواد گیاهی تقریباً ۷۰ درصد از کل جریان کربن سالانه در دنیا را تشکیل می‌دهد، بنابراین هرگونه تغییر در پویایی تجزیه لاشبرگ پیامد زیادی بر بیلان جهانی کربن به همراه خواهد داشت (Couteaux et al., 1995). دما و رطوبت قابل دسترس، مهم‌ترین عوامل محیطی در میان عوامل اقلیمی هستند که تأثیر زیادی در فرآیند تجزیه دارند (Murphy et al., 1998). افزایش دما به دلیل تأثیری که در افزایش فعالیت جمعیت‌های میکروبی و افزایش کیفیت لاشبرگ دارد (Zhang et al., 2015)، در بیشتر موارد منجر به افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ می‌شود (Kirwan and Blum, 2011). افزایش حرارت با دسترسی مناسب به رطوبت، فعالیت موجودات خاکزی افزایش یافته و نرخ تجزیه ماده آلی با سرعت بالاتری انجام می‌شود (Moslehi et al., 2018). Cheng et al. (2018) نشان دادند که سرعت تجزیه انواع لاشبرگ‌ها با کاهش رطوبت کاهش می‌یابد. اثر متقابل رطوبت و دمای خاک بر نرخ تجزیه لاشبرگ نیز معنی‌دار است؛ چنانکه Liu et al. (2017) نرخ تجزیه ریزریشه (*fine root*) را در یک جنگل گرمسیری بلوط از طریق اعمال تیمار کاهش تاج‌بارش همراه افزایش دمای خاک بررسی کردند و مشخص شد قطعات نمونه گرمایشی همراه با کاهش تاج‌بارش اثر متقابل دارند که بر نرخ

است. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر سالانه محدوده مورد بررسی ۱۰۱۲/۵ میلی‌متر برآورد شد. سنگ مادر در این پارسل لس و تحت‌رده خاک آن کلسیک لویسول است. بافت خاک در سطح سیلتی رسی و در عمق رسی بوده و واکنش خاک در محدوده ۶/۵ در سطح تا ۸/۲ در عمق متغیر است.

طراحی آزمایش

در این پژوهش از چمبر روباز اصلاح‌شده Marion et al. (1997) استفاده شد. این چمبرها با استفاده از پلاستیک شفاف، به شکل هرم ناقص (با ارتفاع ۱/۵۲ و قاعده شش‌ضلعی منظم به طول ضلع ۱/۰۸ و ۰/۶۲) و حجم ۲/۹۲ مترمکعب ساخته شد. سطح رویی چمبرهای باز گذاشته شد. به‌نحوی که اعمال تیمارهای کاهش بارش ممکن باشد (شکل ۱). در مجموع ۱۲ چمبر ساخته و در محل اجرای پژوهش نصب شد. هشت چمبر با عنوان تیمار ۲۵ و ۵۰، هم‌زمان با افزایش دمای خاک از حجم تاج‌بارش به مقدار ۲۵ و ۵۰ درصد کاسته شد. چهار چمبر صرفاً سبب افزایش دمای خاک شدند که با عنوان تیمار حرارتی نامیده شد و چهار تیمار در سطح سه مترمربع از جنگل طبیعی به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد.

اثر توأم افزایش دما و کاهش تاج‌بارش بر نرخ تجزیه لاشبرگ استفاده شد. از این‌رو هدف از انجام این پژوهش شبیه‌سازی اثر کاهش تاج‌بارش و افزایش دما بر روند تجزیه لاشبرگ دو گونه ممرز و بلندمازو در توده بلوط-ممرز است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد بررسی

پژوهش در پارسل چهار از سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا که جزو جنگل‌های شرق هیرکانی محسوب می‌شود، در تیپ درختی بلوط-ممرز انجام شد. این سری با مساحت ۱۷۱۳ هکتار، با طول جغرافیایی ۲۶° ۲۱' ۵۴" تا ۵۴° ۲۴' ۵۷" شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷° ۲۷' ۴۳" تا ۳۶° ۴۸' ۳۶" شمالی، محدوده ارتفاعی ۲۴۰ تا ۲۱۶۸ متر از سطح دریا و در فاصله ۱۷ کیلومتری جنوب غربی شهر گرگان جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، این منطقه جزء اقلیم مرطوب معتدل محسوب می‌شود. بر اساس آمار اقلیم‌شناسی دریافتی از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان و ایستگاه‌های هم‌جوار، طی یک دوره آماری ۳۰ ساله متوسط بارندگی سالانه ۶۸۶/۲ میلی‌متر و تعداد روزهای بارانی از ۴۴ روز تا ۹۷ روز متغیر



شکل ۱- چمبرهای اصلاح‌شده برای افزایش دمای هوا و کاهش مقدار تاج‌بارش

Figure 1. Modified chambers for increasing temperature and throughfall exclusion

بررسی درجه ارتباط بین مقدار ماده آلی ازدست‌رفته با مشخصه‌های محیطی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. کلیه آنالیزها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد.

نتایج

در تیمارهای ۲۵، ۵۰، حرارتی و شاهد، میانگین دمای خاک به ترتیب ۱۸/۹، ۱۸/۸، ۱۸/۹ و ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد و دمای هوا به ترتیب ۲۴/۵، ۲۴/۹، ۲۴/۸ و ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد طی مدت ۲۰۰ روز پژوهش بود. میانگین دمای خاک در سه تیمار پژوهش به‌طور متوسط ۰/۳ - ۰/۲ درجه سانتی‌گراد بیشتر از تیمار شاهد بود که این مقدار افزایش دمای خاک سبب شد تا محتوای رطوبت خاک در سه تیمار پژوهش نسبت به شاهد ۱۲/۸ درصد کاهش یابد. میانگین درصد رطوبت هوا نیز در سه تیمار پژوهش نسبت به شاهد ۱/۹ درصد افزایش یافت. در جدول ۱ تغییرات دما و رطوبت هوا و رطوبت خاک طی مدت پژوهش ارائه شده است. روند تجزیه لاشبرگ گونه ممرز در طی مدت ۲۰۰ روز در تیمارهای مختلف (به‌جز تیمار شاهد) نشان می‌دهد باگذشت زمان روند تجزیه افزایش یافته است. به‌طوری که مقایسه میانگین‌های ماهانه و فصلی در هر سه تیمار اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد (شکل ۲). در تیمار ۲۵، میانگین درصد وزن باقی‌مانده لاشبرگ گونه ممرز در طول مدت پژوهش ۷۵/۱۰ درصد بود که بیشترین کاهش وزن را نسبت به دو تیمار دیگر داشت. میانگین درصد وزن باقی‌مانده گونه بلندمازو در این تیمار ۷۲/۹۰ درصد بود (شکل ۲، الف). در تیمار ۵۰ به‌طور میانگین ۷۶/۴۲ درصد از وزن اولیه لاشبرگ ممرز در طول مدت پژوهش باقی ماند که از این مقدار برای گونه بلندمازو ۷۷/۱۵ درصد بود (شکل ۲، ب). در تیمار

دما و رطوبت هوا در مرکز هر چمبر با استفاده از دماسنج و رطوبت‌سنج محیطی دیجیتال مدل TFA 30.5015 اندازه‌گیری شد. (دقت اندازه‌گیری $\pm 0.1^\circ\text{C}$ و $\pm 5\%$ درصد، تولید کشور چین) دمای خاک با دماسنج دیجیتال (Lustre Leaf 1625 Digital Soil Thermometer) در عمق پنج سانتی‌متری از سطح خاک در سه‌نقطه از چمبر ثبت شد (Marion et al., 1997) و محتوای رطوبت خاک با نمونه‌برداری خاک از سه‌نقطه چمبر در آزمایشگاه تعیین شد. لاشبرگ گونه‌های ممرز (*Carpinus betulus*) و بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) در ماه آذر بلافاصله بعد از خزان به‌طور دستی جمع‌آوری، به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک شدند. برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت لاشبرگ، نمونه‌های جمع‌آوری شده، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک شد (Cornelissen et al., 2007). پنج گرم لاشبرگ هرگونه در کیسه‌های لاشبرگی (Yousefi et al., 2016) با ابعاد ۲۵×۲۰ سانتی‌متر قرار داده شد و نرخ تجزیه لاشبرگ از طریق کاهش وزن (دقت هزارم‌گرم) از اسفند ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸، در فواصل زمانی ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۹۵ روز مورد بررسی قرار گرفت. مقدار ماده آلی ازدست‌رفته و درصد وزن باقی‌مانده به ترتیب از رابطه یک و دو محاسبه شد:

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{Mass Loss(\%)} = [(w_0 - w_t)/w_0] \times 100$$

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{Remaining Mass(\%)} = [w_t/w_0] \times 100$$

در این روابط، W_t : وزن خشک لاشبرگ بعد از زمان t و W_0 : وزن خشک اولیه لاشبرگ است.

نرمال‌بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و تأیید شد. برای ارزیابی اثر تیمار بر درصد وزن باقی‌مانده در طول زمان از آنالیز واریانس یک‌طرفه و از آزمون دانکن برای مقایسه‌های چندگانه استفاده شد. همچنین برای

روند تغییرات نرخ تجزیه لاشبرگ در تیمار شاهد نشان می‌دهد که نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های ممرز و بلندمازو تقریباً مشابه بودند و در طول دوره از مقدار کاهش وزن لاشبرگ کاسته شد. در جدول ۲، توجه به تیمارهای ترکیبی (افزایش دمای خاک و کاهش تاج‌بارش) نشان می‌دهد که نه تنها نرخ تجزیه در طول دوره کاهش نیافت بلکه در تیمار ۲۵ برای گونه بلندمازو به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

حرارتی برای گونه ممرز به‌طور میانگین ۷۵/۸۸ درصد وزن لاشبرگ طی مدت پژوهش حفظ شد، حال آنکه برای گونه بلندمازو وزن باقی‌مانده لاشبرگ ۷۹/۰۹ درصد بود (شکل ۲، ج). کمترین نرخ تجزیه یا بیشترین درصد وزن باقی‌مانده لاشبرگ گونه ممرز در تیمار شاهد ثبت شد که به‌طور میانگین ۷۷/۴۵ درصد بود و برای گونه بلندمازو در این تیمار ۷۷/۸۱ درصد وزن لاشبرگ باقی ماند (شکل ۲ - د). جدول ۲، نرخ تجزیه لاشبرگ را در دو دوره ۱۰۰ روزه نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین ماهانه دمای هوا، رطوبت هوا، دمای خاک و محتوای رطوبت خاک در تیمارهای پژوهش

Table 1. Average monthly of the air temperature, air humidity, soil temperature and soil moisture content in the study treatments

ماه Month	نوع تیمار Treatment type															
	۲۵ درصد 25%				۵۰ درصد 50%				حرارتی Warming				شاهد Control			
	AT	AH	ST	SMC	AT	AH	ST	SMC	AT	AH	ST	SMC	AT	AH	ST	SMC
اسفند March	22.4	47	11.3	49.1	22.5	45.4	11.2	44.2	22.7	41.5	11.1	43.8	22	41.1	10.9	50.7
فروردین April	24.1	52.2	15.8	59.4	24.4	51.6	15.5	52.2	25.1	49.9	16	53.8	23.2	49.5	15.6	58.1
اردیبهشت May	23.3	57.4	17	38.8	23.3	57.8	16.8	37.1	23.1	58.4	16.9	27.4	23.1	57.9	16.8	36.1
خرداد June	26.6	65.2	20.9	20.8	26.9	64.4	20.9	17.6	26.8	63.5	21	13.7	26.7	63.6	20.8	17.7
تیر July	25.1	80.2	22.4	31.5	25.7	76.9	22.4	31.8	25.1	80.3	22.4	29.1	25	79.1	22.2	40.9
مرداد August	24.5	73.4	22.2	-	25.5	69.1	22.2	-	25	72.5	22.2	-	24.4	70.6	21.8	-
شهریور September	25.4	65.7	22	17.1	25.9	63	22	18.2	26	62.9	22.3	17.4	25.1	62.9	21.7	23.4
میانگین Average	24.5	63.01	18.92	36.1	24.9	61.2	18.85	33.5	24.8	61.3	18.9	30.9	24.2	60.67	18.7	37.8

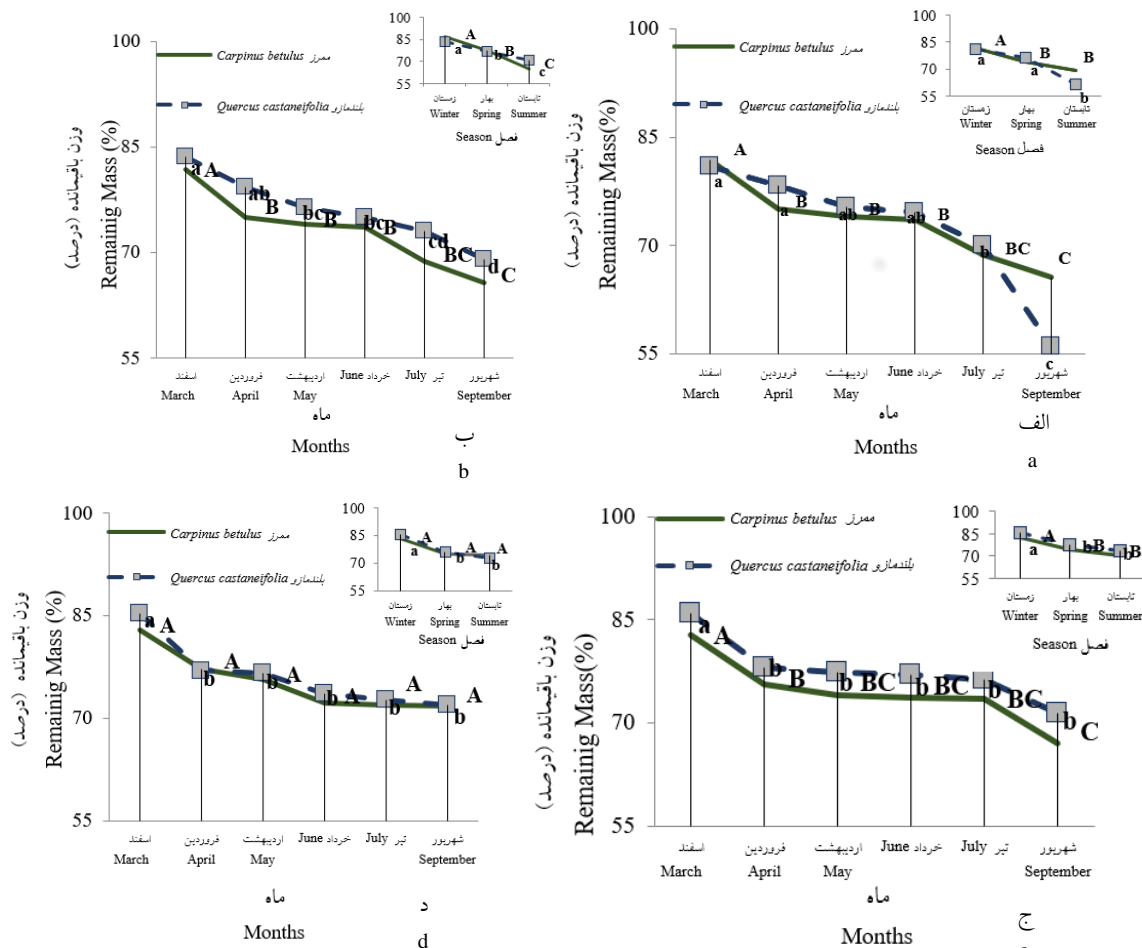
تیمارها همبستگی خطی مثبت معنی‌دار و با محتوای رطوبت خاک همبستگی منفی معنی‌دار وجود داشت، در حالی که در تیمار شاهد همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. در گونه بلندمازو ازدست دادن ماده آلی لاشبرگ با دمای خاک، درصد رطوبت هوای چمبر همبستگی مثبت معنی‌دار و با محتوای رطوبت خاک همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت.

در جدول ۳، همبستگی ازدست‌دادن ماده آلی گونه‌های ممرز و بلندمازو با دمای خاک و هوا، رطوبت هوا و محتوای رطوبت خاک در ۷۲ نمونه ارائه شده است. نوع همبستگی (+ یا -) و معنی‌داری همبستگی خطی (در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد) در گونه‌ها و تیمارهای پژوهش متفاوت بود. برای گونه ممرز بین ازدست‌دادن ماده آلی با دمای خاک

جدول ۲- نرخ تجزیه (درصد کاهش وزن) دو گونه ممرز و بلندمازو در دو دوره ۱۰۰ روزه تیمارهای پژوهش

Table 2. Decomposition rate (percentage of weight loss) of the two species of hornbeam and oak in two 100-day stages of the study treatments

شاهد	حرارتی	۵۰ درصد	۲۵ درصد	گونه درختی
Control	Warming	50%	25%	Tree species
14.8	12.4	11.2	11.2	۱۰۰ روز اول First 100 days
-13.6	9.9	12.1	12.1	۱۰۰ روز دوم 100 second days
15.8	11.7	11.6	8.5	۱۰۰ روز اول First 100 days
2.3	7.9	8.7	33.4	۱۰۰ روز دوم 100 second days



شکل ۲- اختلاف معنی دار ($p < 0.05$) درصد وزن باقی مانده گونه ممرز (حروف بزرگ) و بلندمازو (حروف کوچک) در ماه‌ها و فصل‌های مختلف در تیمار ۲۵ درصد (الف) ۵۰ درصد (ب) حرارتی (ج) و شاهد (د)

Figure 3. Significant difference ($p < 0.05$) of the remaining mass of hornbeam species (uppercase) and oak (lowercase) in different months and seasons and in 25% (a) 50% (b) thermal treatment (c) and control (d)

جدول ۳- همبستگی پیرسون ازدست‌دادن ماده آلی گونه ممرز و بلوط با مشخصه‌های محیطی

Table 3. Pearson correlation of the loss of organic matter of hornbeam and oak with environmental characteristics

رطوبت خاک چمبر (درصد) Moisture of chamber soil (%)	رطوبت هوای چمبر (درصد) Chamber air humidity (%)	دمای هوای چمبر (سانتی‌گراد) Chamber air temperature (°C)	دمای خاک چمبر (سانتی‌گراد) Chamber soil temperature (°C)	تیمار Treatment	مشخصه Feature
-0.636* (0.011)	0.334 ^{ns} (0.264)	0.328 ^{ns} (0.215)	0.535*(0.03)	۲۵ درصد 25%	
-0.636** (0.008)	0.457 ^{ns} (0.087)	0.231 ^{ns} (0.390)	0.646** (0.007)	۵۰ درصد 50%	ازدست‌دادن ماده آلی گونه ممرز
-0.563*(0.019)	0.584*(0.014)	0.352 ^{ns} (0.153)	0.658** (0.003)	حرارتی Warming	Loss of organic matter of hornbeam
- 0.219 ^{ns} (0.415)	0.170 ^{ns} (0.530)	0.242 ^{ns} (0.368)	0.107 ^{ns} (0.698)	شاهد Control	
-0.565** (0.01)	0.65** (0.00)	0.15 ^{ns} (0.5)	0.72** (0.00)	۲۵ درصد 25%	
-0.578** (0.01)	0.46* (0.05)	0.11 ^{ns} (0.67)	0.62** (0.00)	۵۰ درصد 50%	ازدست‌دادن ماده آلی گونه بلندمازو
-0.594** (0.00)	0.57** (0.01)	0.39 ^{ns} (0.11)	0.72** (0.00)	حرارتی Warming	Loss of organic matter of oak
-0.591** (0.01)	0.52* (0.02)	0.48 ^{ns} (0.04)	0.85** (0.00)	شاهد Control	

*, **, and ns significant correlation at 95 and 99% levels and no significance correlation, respectively. The numbers in parentheses denote a level.

همیشه رخ نمی‌دهد (Risch et al., 2007). در این پژوهش استقرار چمبرهای روباز اصلاح‌شده مشابه با نتایج Marion et al. (1997) سبب افزایش دمای هوای چمبر شد که سبب گرم‌شدن خاک سطحی به مقدار ۳/۲-۰/۰ درجه سانتی‌گراد شد و این افزایش دمای خاک ۱۳ درصد محتوای رطوبت خاک را کاهش داد (جدول یک). چمبر روباز در پژوهش Bokhorst et al. (2013) سبب افزایش ۰/۹ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد در جزایر فالکلند شد. در این پژوهش، استقرار چمبر روباز حرارتی و ترکیبی (حرارتی همراه با کاهش تاج‌بارش)، منجر به تغییر نرخ تجزیه لاشبرگ گونه ممرز شد. به‌نحوی که افزایش دمای ناشی از استقرار چمبر سبب افزایش از دست دادن ماده آلی لاشبرگ

بحث

تجزیه لاشبرگ بخش اساسی فرآیندهای چرخه مواد مغذی را تشکیل می‌دهد و کربنی را که در زی‌توده لاشبرگ پایدار شده (تثبیت‌شده) به‌صورت دی‌اکسید کربن به اتمسفر برمی‌گرداند. ویژگی‌های اقلیمی مانند دما، بارندگی و تغییرات فصلی ممکن است زندگی میکروب‌ها و جانوران خاکزی را تحت تأثیر قرار دهد که به‌طور چشمگیر بر نرخ تجزیه لاشبرگ اثر می‌گذارد. افزایش دما اغلب موارد منجر به افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ می‌شود. (Zhang 2015) et al. بیان کردند که افزایش دما سبب افزایش کیفیت لاشبرگ و در نتیجه افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ می‌شود؛ اما برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که این اثر

کاهش روابط مکمل (Complementarity) بین تجزیه‌کنندگان نسبت به تیمار شاهد خواهد شد (Tiuonov and scheu, 2005). با این حال نتایج پژوهش (Salamanca et al. (2003) مقدار کاهش وزنی لاشبرگ را برای تیمارهای اعمال خشکی (۵۰ و ۱۰۰ درصد) و شاهد گزارش کردند که کاهش وزنی لاشبرگ در تیمار خشکی نسبت به تیمار شاهد ۱۰۰ درصد، اختلاف معنی‌دار نشان داد که حاکی از آن است که مقدار ازدست‌رفتن ماده آلی در تمام گونه‌های مورد پژوهش، ۱۹ تا ۲۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. لیکن بر اساس نتایج این پژوهش، در تیمارهای ترکیبی حرارتی و کاهش تاج‌بارش (۲۵ و ۵۰ درصد)، مقدار از دست رفتن ماده آلی در گونه‌های ممرز و بلندمازو نسبت به تیمار شاهد، در تمام مراحل بیشتر بود. دست‌یابی به این نتیجه می‌تواند به دلیل اثر توأم و متقابل حرارت-رطوبت خاک، بیشتر بودن اثر افزایش حرارت نسبت به کاهش تاج‌بارش، ایجاد دوره‌های خشک‌تر (Miller et al. (2005 و احتمالاً حساسیت بیشتر خاکزیان منطقه پژوهش نسبت به تغییرات حرارتی در مقایسه با تغییرات رطوبتی باشد. در تیمارهای ترکیبی این پژوهش، با ازبین‌رفتن نظم دریافت بارش (نسبت به تیمار شاهد) و ایجاد دوره‌های خشک و تر، نرخ تجزیه لاشبرگ نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. در چنین شرایطی احتمال حضور جمعیت‌های خاکزی متنوع‌تر و با سطح فعالیت بیشتر، فراهم خواهد شد که نیازمند انجام پژوهش‌های آتی برای اثبات آن است. در پژوهش Dan et al. (2016) نرخ تجزیه ماده آلی خاک با جمعیت باکتری‌های گرم‌مثبت و گرم‌منفی و محتوای رطوبت خاک همبستگی معنی‌داری داشت. وجود همبستگی خطی منفی بین محتوای رطوبت خاک و درصد کاهش وزن لاشبرگ گونه‌های ممرز و بلندمازو (جدول دو)

این‌گونه در طی مدت پژوهش شد. همان‌طور که در جدول دو مشاهده می‌شود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ماده آلی از دست‌رفته گونه ممرز با دمای خاک چمبر وجود دارد. در پژوهش Liu et al. (2017) نیز، اثر تحریک دمایی برافزایش نرخ تجزیه لاشبرگ گزارش شده است. در تیمار حرارتی، دمای خاک به مقدار ۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت که منجر به افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ گونه ممرز به مقدار ۳/۶ درصد و کاهش نرخ تجزیه گونه بلندمازو به مقدار ۱/۹ درصد شد. افزایش تاج‌بارش از طریق کاهش پلی‌فنول‌ها طی فرآیند آبشویی سبب افزایش کیفیت لاشبرگ و خوش‌خوراکی آن برای خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه‌کنندگان می‌شود (Salamanca et al., 2003). افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ گونه ممرز در تیمار حرارتی نسبت به تیمار شاهد می‌تواند به دلیل اثر هم‌زمان آبشویی و افزایش حرارت ناشی از استقرار چمبرها در این تیمار باشد. لیکن بر مبنای دلایل فوق، انتظار می‌رفت با کاهش تاج‌بارش به مقدار ۲۵ و ۵۰ درصد، نرخ تجزیه لاشبرگ کاهش یابد. لیکن برخلاف این انتظار، با کاهش تاج‌بارش به مقدار ۲۵ و ۵۰ درصد، نرخ تجزیه لاشبرگ گونه ممرز به ترتیب ۵/۴ و ۵/۵ درصد و نرخ تجزیه لاشبرگ گونه بلندمازو به ترتیب ۵ و ۰/۲ درصد افزایش یافت. نتایج این پژوهش با نتایج گزارش‌شده توسط Wieder et al. (2009) منطبق نیست. این محققان در پژوهش خود این فرضیه را مطرح کردند که آبشویی ماده آلی محلول، مسیر اصلی ازدست‌رفتن ماده آلی است و کاهش تاج‌بارش منجر به کاهش نرخ تجزیه لاشبرگ می‌شود. همچنین در پژوهش Santonja et al. (2015) مقدار ماده آلی ازدست‌رفته در قطعات نمونه در معرض خشکی نسبت به پلات‌های شاهد در سطح معنی‌داری کمتر بود؛ زیرا شرایط خشکی منجر به

متفاوتی را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج جدول سه، شبیه‌سازی اثر توأم کاهش بارش و افزایش دما تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر نرخ تجزیه لاشبرگ گونه بلندمازو داشت. انتظار می‌رفت با گرم‌شدن هوا در فصل تابستان (۱۰۰ روز دوم پژوهش) نرخ تجزیه لاشبرگ نسبت به ۱۰۰ روز اول پژوهش کاهش یابد که این روند در تیمار ۵۰، حرارتی و شاهد مشاهده شد. اما در تیمار ۲۵، باگذشت زمان نرخ تجزیه لاشبرگ بلندمازو افزایش یافت. در فصل تابستان، بیشترین رطوبت اتمسفر در چمبر ترکیبی ۲۵ درصد مشاهده شد و به‌نظر می‌رسد با افزایش رطوبت اتمسفر، شرایط مناسب‌تری برای تجزیه لاشبرگ این‌گونه به‌نسبت-گرمادوست فراهم شد (Gorji-Bahri et al., 2014). این فرضیه باوجود همبستگی مثبت و معنی‌دار رطوبت هوا با مقدار تجزیه لاشبرگ بلندمازو (جدول دو) تقویت می‌شود. با توجه به اینکه گونه ممرز جزو گونه‌های با اصلاح‌کنندگی بالای خاک است و بلوط گونه‌ای با اصلاح‌کنندگی متوسط است، درک روند تغییرات تجزیه لاشبرگ گونه ممرز و بلوط و برگشت مواد غذایی آن به خاک در شرایط گرمایش جهانی مدیران را قادر خواهد ساخت در ارزیابی توان اکولوژیک توده‌های جنگلی واجد گونه ممرز و بلوط آینده‌نگری داشته باشند.

References

Bokhorst, S.; Huiskes, A.; Aerts, R.; Convey, P.; Cooper, E. J.; Dalen, L.; Erschbamer, B.; Gudmundsson, J.; Hofgaard, A.; Hollister, R. D., Variable temperature effects of Open Top Chambers at polar and alpine sites explained by irradiance and snow depth. *Global Change Biology* **2013**, *19* (1), 64-74.
Cheng, C. X.; Guo, K.; Mao, Z. J.; Sun, P. F.; Ma, H.; Wang, C., Effects of soil moisture on litter decomposition of three main tree species in Northeast China. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology* **2018**, *29* (7), 2251-2258.

نیز با یافته فوق مطابقت دارد. در تیمار حرارتی، بدون اینکه شرایط خشکی یا افزایش رطوبت در چمبرهای ترکیبی ایجاد شود، نرخ تجزیه لاشبرگ در گونه بلندمازو کاهش یافت. در واقع افزایش دمای هوا، در شرایطی که مقدار بارش ثابت بماند، سبب کاهش نرخ تجزیه لاشبرگ گونه بلندمازو شد. در پژوهش Wieder et al. (2009) اختلاف موجود بین گونه‌ها از نظر روند تجزیه لاشبرگ، با تفاوت‌های شیمیایی و فیزیکی لاشبرگ گونه‌ها مرتبط شد. همچنین در پژوهش Santonja et al. (2015) نیز همبستگی معنی‌دار بین مقدار ماده آلی ازدست‌رفته و مشخصه‌های اولیه لاشبرگ همانند لیگنین، سلولز، نسبت لیگنین به نیتروژن، پلی‌فنول و محتوای رطوبت لاشبرگ مشاهده شد. در پژوهش فوق محتوای فنل اولیه و محتوای رطوبت لاشبرگ، بعد از شاخص نسبت لیگنین به نیتروژن، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در مقدار ماده آلی ازدست‌رفته بودند. عدم انطباق روند تجزیه لاشبرگ ممرز و بلندمازو در این پژوهش می‌تواند به تفاوت در کیفیت لاشبرگ این گونه‌ها و درعین‌حال نیازمندی متفاوت لاشبرگ این گونه‌ها به آنزیم‌ها و جمعیت‌های میکروبی چندگانه و متفاوت مرتبط باشد، زیرا با تغییر شرایط رطوبتی، دمای و غذای هر گروه از جمعیت خاکزیان قابلیت فعالیت

Cornelissen, J.; Van Bodegom, P.; Aerts, R.; Callaghan, T.; Van Logtestijn, R.; Alatalo, J.; Chapin, F.; Gerdol, R.; Gudmundsson, J.; Gwynn-Jones, D., Totland O, Wada N, Welker JM, Zhao X, Team MOL (2007) Global negative vegetation feedback to climate warming responses of leaf litter decomposition rates in cold biomes. *Ecol Lett* **10**, 619-627.
Couˆteaux, M.-M.; Bottner, P.; Berg, B., Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in ecology & evolution* **1995**, *10* (2), 63-66.
Dan, W.; Nianpeng, H.; Qing, W.; Yuliang, L.; Qiufeng, W.; Zhiwei, X.; Jianxing, Z.,

- Effects of temperature and moisture on soil organic matter decomposition along elevation gradients on the Changbai Mountains, Northeast China. *Pedosphere* **2016**, 26 (3), 399-407.
- Geethanjali, P.; Jayashankar, M., A review on litter decomposition by soil fungal community. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences* **2016**, 11 (4), 1-3.
- Jamaludheen, V.; Kumar, B. M., Litter of multipurpose trees in Kerala, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. *Forest ecology and management* **1999**, 115 (1), 1-11.
- Kianmehr, A.; Hojati, S. M.; Kooch, Y.; Ghasemi Agh Bash, F., Effect of canopy composition on litterfall rate, respiration and some Soil properties in pure and mixed stands of beech and hornbeam. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (3), 373-386. (In Persian).
- Kirwan, M.; Blum, L., Enhanced decomposition offsets enhanced productivity and soil carbon accumulation in coastal wetlands responding to climate change. *Biogeosciences* **2011**, 8 (4), 987-993.
- Kumar, R.; Tapwal, A.; da Silva, J. A. T.; Baruah, D. M.; Gogoi, S., Seasonal Dynamics of Leaf Litter Decomposition and Fungal Population in an Undisturbed Dipterocarpus Forest of North East India. *Tree and Forestry Science and Biotechnology* **2012**, 6 (1), 130-134.
- Liu, Y.; Liu, S.; Wan, S.; Wang, J.; Wang, H.; Liu, K., Effects of experimental throughfall reduction and soil warming on fine root biomass and its decomposition in a warm temperate oak forest. *Science of the Total Environment* **2017**, 574, 1448-1455.
- Margesin, R.; Minerbi, S.; Schinner, F., Litter decomposition at two forest sites in the Italian Alps: a field study. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* **2016**, 48 (1), 127-138.
- Marion, G.; Henry, G.; Freckman, D.; Johnstone, J.; Jones, G.; Jones, M.; Levesque, E.; Molau, U.; Mølgaard, P.; Parsons, A., Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. *Global Change Biology* **1997**, 3 (S1), 20-32.
- Miller, A. E.; Schimel, J. P.; Meixner, T.; Sickman, J. O.; Melack, J. M., Episodic rewetting enhances carbon and nitrogen release from chaparral soils. *Soil Biology and Biochemistry* **2005**, 37 (12), 2195-2204.
- Moslehi, M.; Habashi, H.; Rahmani, R.; SAGHEB, Kh., Relationship between soil organic carbon pool and some site variables in the mixed beech-hornbeam stand. *Forest Research and Development* **2018**, 3 (4), 329-345. (In Persian).
- Murphy, K. L.; Klopatek, J. M.; Klopatek, C. C., The effects of litter quality and climate on decomposition along an elevational gradient. *Ecological Applications* **1998**, 8 (4), 1061-1071.
- Risch, A.C.; Jurgensen, M.F.; Frank, D.A., Effects of grazing and soil micro-climate on decomposition rates in a spatio-temporally heterogeneous grassland. *Plant and Soil* **2007**, 298 (1-2), 191-201.
- Salamanca, E. F.; Kaneko, N.; Katagiri, S., Rainfall manipulation effects on litter decomposition and the microbial biomass of the forest floor. *Applied Soil Ecology* **2003**, 22 (3), 271-281.
- Santonja, M.; Fernandez, C.; Gauquelin, T.; Baldy, V., Climate change effects on litter decomposition: intensive drought leads to a strong decrease of litter mixture interactions. *Plant and Soil* **2015**, 393 (1-2), 69-82.
- Shen, K.P.; Harte, J. Ecosystem climate manipulation. In: Sala O.E., Jackson R.B., Mooney H.A., Howarth R.W(Eds.), *Methods in ecosystem science*. Springer-Verlag Press, New York, 2000; pp. 353-369.
- Sun, S.Q.; Peng, L.; Wang, G. X.; Wu, Y. H.; Zhou, J.; Bing, H. J.; Luo, J., An improved open-top chamber warming system for global change research. *Silva Fenn* **2013**, 47, 960.
- Wieder, W. R.; Cleveland, C.C.; Townsend, A.R., Controls over leaf litter decomposition in wet tropical forests. *Ecology* **2009**, 90 (12), 3333-3341.
- Yousefi, Z.; Jafarian, Z.; Hojjati, M.; Tayyebi, M., Litter decomposition presses of *Prangos ferulacea* using litter bag technique in Hossein Abad station of Fars province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2016**, 3 (7), 129-144. (In Persian).
- Zhang, L.; Jia, R.; Palange, N. J.; Satheka, A. C.; Togo, J.; An, Y.; Humphrey, M.; Ban, L.; Ji, Y.; Jin, H., Large genomic fragment deletions and insertions in mouse using CRISPR/Cas9. *PloS one* **2015**, 10 (3), e0120396.

Effect of simulation of throughfall exclusion and increasing ambient temperature on the litter decomposition rate of hornbeam and chestnut-leaved oak species

M. Izadi¹, H. Habashi^{*2}, M. Shayanmehr³, R. Rahmani⁴ and F. Rafiee⁵

1- Ph.D. Student of Silvicultural and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (M.izadi460@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (habashi@gau.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Crop Sciences, Sari University Agricultural Sciences and Nature Resources, Sari, I. R. Iran. (shayanm30@yahoo.com)

4- Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (dr_amin99@yahoo.com)

5- Ph.D. of Forest Soil Biology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (rafiee.f@gmail.com)

Received: 09.06.2021 Accepted: 25.10.2021

Abstract

The rate of litter decomposition is influenced by various factors such as climatic conditions, litter quality and population of decomposers. Changes in precipitation patterns and increasing temperatures are the most important consequences of the climate change may change the decomposition rate of leaf litter. Hence, the present study aimed to simulate the effect of throughfall exclusion and increasing temperature on the process of hornbeam and oak leaf litter decomposition in the oak-hornbeam stand. For this purpose, four treatments were considered including two combined treatments consist of 25 and 50% throughfall exclusion and increasing temperature, warming and the control treatment (natural conditions). The hornbeam and oak leaf litter decomposition rate were studied using litter bags for 200 days. The average soil temperature of the treatments during the study period was 0.2-0.3 °C more than the control treatment, which resulted in a decrease in soil moisture content 13%. The combine effect of increasing temperature and decreasing soil water content cause a significant increase in the leaf litter decomposition rate of hornbeam, especially in the treatments of 25 and 50% compared to the control. The decomposition rate of the control treatment was decreased over time; while the decomposition rate of oak increased in the treatment of 25%. The results showed that changing in the climate conditions (i.e., increasing the temperature and decreasing the precipitation) will significantly change the rate of litter decomposition of thermophilic species (oak). It will lead to increase the rate of nutrient exchange in the forest soil ecosystem. Therefore, in forests with fertile soil, it is possible to shorten the exploitation period.

Keywords: Soil temperature, Climate Manipulation, Soil moisture, Litter bag, Litter reduction rate.

* Corresponding author

Tel: +989113701070

تنوع ژنتیکی نهال‌های گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.) با استفاده از نشانگرهای SSR

آیدا طاهری^۱، نسرين سیدی^{۲*}، بابک عبدالهی مندولکانی^۳، قادر میرزاقداری^۴، سولماز نجفی^۵ و کورش وحدتی^۶

- ۱- دانش‌آموخته دکترای جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (Taheri_ayda@yahoo.com)
- ۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (n.seyedi@urmia.ac.ir)
- ۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (b.abdollahi@urmia.ac.ir)
- ۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. (gh.mirzaghaderi@uok.ac.ir)
- ۵- استادیار، گروه محصولات زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یوزونجو یل وان، وان، ترکیه. (solmaznajafi.agri@gmail.com)
- ۶- استادیار، گروه باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (kvahdati@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

چکیده

اولین گام برای شناسایی، حفظ و نگهداری ذخایر توارثی و اساس پژوهش‌های ژنتیکی و برنامه‌های اصلاحی تعیین مقدار تنوع ژنتیکی در مواد گیاهی است. به‌کارگیری نشانگرهای مولکولی یکی از ابزارهای بسیار مهم در این زمینه است. در این راستا حفظ تنوع ژنتیکی گیاهان بومی و ارزیابی مقدار تنوع آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. برای ارزیابی تنوع ژنتیکی ۱۴۰ نهال گردوی ایرانی از ۲۰ جفت آغازگر SSR استفاده شد. ۲۰ مکان SSR در مجموع ۱۳۸ آلل تولید کرد. کمترین و بیشترین تعداد آلل، به‌ترتیب مربوط به مکان‌های WGA69، WGA71 و JRHR211298 (پنج آلل) و WGA202 (نه آلل) بود. کمترین و بیشترین تعداد آلل مؤثر به‌ترتیب مربوط به مکان‌های JRHR211298 و JRHR217037 بود. بیشترین مقدار هتروزیگوتی مشاهده‌شده توسط مکان WGA69 تولید شد. همه مکان‌های SSR در جمعیت مورد بررسی انحراف معنی‌داری ($p \leq 0.001$) از تعادل هاردی-واینبرگ نشان دادند. دندروگرام حاصل از روش Neighbour-joining، ۱۴۰ نهال گردو را در ۵ گروه عمده قرار داد. بررسی ساختار جمعیت با نرم‌افزار Structure 2.3.1، ۲ گروه ($k=2$) احتمالی را شناسایی کرد. که نتایج هردو تا حد زیادی با هم هم‌خوانی داشتند. اطلاعات حاصل بر اساس ماتریس سهم عضویت افراد و مقدار F_{st} نشان داد که تمایز قابل-ملاحظه‌ای بین گروه‌های احتمالی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تعادل هاردی-واینبرگ، هتروزیگوسیتی مشاهده‌شده.

مقدمه

وسعت شهرنشینی، کشاورزی و تغییرات کاربری، علاوه بر تغییر در کیفیت و ترکیب جنگل، کاهش تنوع را نیز به همراه داشته است (Vahedi et al., 2016). ایران دارای شرایط مناسب برای کشت گردو است و به دلیل تکثیر بذری و سطح زیر کشت زیاد آن، تنوع بسیار زیادی در کشور وجود دارد. وجود چنین تنوعی فرصت‌های زیادی را برای اصلاح گردو فراهم می‌آورد (Ruiz-Garcia et al., 2011). در کشور ما به دلیل عدم شناخت ژرم‌پلاسم گیاهی و ژن‌های مطلوب، برنامه‌های اصلاحی قابل توجهی روی محصولات باغی به خصوص درخت گردو انجام نشده است، از این رو با شناسایی خصوصیات ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف، می‌توان ژن‌های مطلوب و مورد نیاز محققان را در دسترس آن‌ها قرار داد (Hagh-Jooyan, 2003).

در ایران کار شناسایی، جمع‌آوری و ارزیابی ژنوتیپ‌های برتر از سال ۱۹۸۳ در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر در مناطق گردوخیز کشور آغاز شد و ارزیابی ژنوتیپ‌های انتخابی تا سال ۲۰۰۸ ادامه یافت. در این میان در کنار اهمیت بخشیدن به اصلاح رقم گردو، اصلاح رقم گرده‌دهنده نیز مورد توجه قرار شد. در نهایت حدود ۵۰ ژنوتیپ برتر در سه فاز مختلف انتخاب شدند. در فاز اول هفت ژنوتیپ برتر برای ارزیابی‌های نهایی انتخاب و از میان آن‌ها ارقام جمال و دماوند معرفی شد. هفت ژنوتیپ همراه با هشت رقم گردوی خارجی از سال ۱۹۹۴ در یک برنامه طولانی‌مدت مورد ارزیابی‌های تکمیلی و آزمایش‌های دقیق‌تر قرار شدند. براساس نتایج این بررسی‌ها ژنوتیپ Z30 که علاوه بر داشتن رشد متوسط رو به قوی، تراکم شاخه‌های باز و عادت به رشد راست، ویژگی‌های لازم به‌عنوان یک گردوی گرده‌دهنده را نیز داشت برای این منظور انتخاب شد

گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.) گونه‌ای است از خانواده Juglandaceae که در اصل بومی آسیای مرکزی، غربی و همچنین ایران (مناطق زاگرس و کرانه جنوبی دریای خزر) بوده که در آسیا از شرق هیمالیا تا چین گسترش یافته و هم‌اکنون نیز در نقاط مختلف جهان توسعه پیدا کرده است (Gerard et al., 2003). با توجه به سطح بالای کشت گردو در استان‌های مختلف ایران و همچنین به دلیل تکثیر جنسی گردوهای موجود، این گیاه دارای تنوع ژنتیکی زیادی است (Vahdati and Zarei, 2006). چوب مرغوب و میوه عالی این گونه، هر دو از نظر اقتصادی دارای ارزش بالایی هستند. به‌همین دلیل این گونه درختی از گذشته تا امروز به‌شدت مورد بهره‌برداری قرار گرفته و در قانون حفاظت از جنگل‌ها و مراتع تحت عنوان گونه حفاظت‌شده معرفی شده است (Sehgal and Raina, 2008). خانواده Juglandaceae دارای ۶۰ گونه است که ۲۰ گونه از آن در جنس *Juglans* قرار می‌گیرد. مشهورترین گونه آن‌ها گردوی ایرانی (*J. regia*) با تعداد کروموزوم $2n=32$ است. گردوی ایرانی احتمالاً از مناطق ایران و افغانستان منشأ شده و سپس به دیگر کشورها مانند چین، روسیه و جنوب اروپا گسترش یافته است (McGranahan et al., 1998). در فلات ایران، گردو در عرض‌های جغرافیایی ۲۹ تا ۳۹ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵ تا ۶۴ درجه شرقی، از مناطق پست تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریا، در مناطق شمال، غرب و مرکز کشور به‌صورت دست‌کاشت یا بومی یافت می‌شود (Vahdati and Zarei, 2006). چین، آمریکا، ایران و ترکیه از تولیدکنندگان اصلی گردو در جهان هستند (Faostat, 2021).

همچنین امکان تشخیص افراد هتروزیگوت از هموزیگوت اشاره کرد (Ovesna et al., 2002). با وجود پژوهش‌های زیادی که در این زمینه انجام شده است ولی استفاده از ژنوتیپ‌های متفاوت کمک شایانی در راستای تکمیل کارهای قبلی می‌کند. از این‌رو در این پژوهش از نشانگرهای SSR برای بررسی تنوع ژنتیکی و ساختار جمعیت برخی نهال‌های گردوی ایرانی برای دستیابی به نتایج بهتر برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای افزایش عملکرد و کیفیت این گونه و همچنین حفظ ذخایر ارزشمند آن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی شامل ۱۴۰ نهال گردوی دو ساله، اصلاح نشده و بومی ایران بود که از نهالستان‌های مختلف در منطقه شمال غرب کشور تهیه شد. برگ‌های تازه سرشاخه‌های آن‌ها برای نمونه‌برداری برای استخراج DNA استفاده شد. عملیات آزمایشگاهی در آزمایشگاه ژنومیکس پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه انجام شد. استخراج DNA به روش CTAB (Doyle and Doyle, 1990) انجام شد و کمیت و کیفیت DNA توسط دستگاه نانودراپ (microplate reader, EPOCH 2) و روش الکتروفورز ژل آگارز یک درصد تعیین شد. پس از تعیین غلظت DNA هر نمونه توسط دستگاه نانودراپ، نمونه‌های استخراجی در حدود ۲۰ نانوگرم در میکرولیتر برای واکنش‌های PCR رقیق شد.

تجزیه نشانگرهای SSR

در این پژوهش از ۲۰ جفت آغازگر SSR (Dangle et al., 2005; Woeste et al., 2002; Eser et al., 2019) استفاده شد. واکنش زنجیره‌ای پلیمرز به روش (Dangl et al., 2005) در دستگاه ترموسایکلر

(Hassani et al., 2012). به‌رحال برای تخمین تنوع ژنتیکی در گردو از نشانگرهای مختلفی مانند نشانگرهای RFLP (Aly et al., 1992)، نشانگرهای RAPD (Niceses et al., 1998)، آلوزایم‌ها (Fornari et al., 1999)، ایزوزایم‌ها (Fornari et al., 2001)، AFLP (Bayazit et al., 2007) و نشانگرهای ISSR (Potter et al., 2002) استفاده شده است. (2013) Mahmoodi et al. با استفاده از نه مکان SSR و صفات مورفولوژیک تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای را در ژنوتیپ‌های بومی کشور گزارش کردند. در این پژوهش ۳۴ آلل در ۲۱ ژنوتیپ شناسایی شد که می‌تواند برای اهداف اصلاحی مورد استفاده قرار بگیرد. Ebrahimi et al. (2016) در بررسی دیگر ۱۸۹ ژنوتیپ را با ده مکان ژنی SSR مورد بررسی قرار دادند و در این بررسی ۳ تا ۲۵ آلل برای هر مکان مشخص شد. در پژوهش ۶۲ نهال گردوی ایرانی توسط Taheri et al. (2016) نیز ۱۰ مکان SSR، در مجموع ۵۳ آلل تولید کرد. (2018) Shamlu et al. ۱۰۲ نمونه گردوی ایرانی را توسط ۱۰ مکان ژنی SSR مورد ارزیابی قرار دادند. تعداد آلل در هر مکان از ۳ تا ۱۲ متغیر بود. (2021) Guney et al. نیز با بررسی تنوع ژنتیکی میان ۹۱ نمونه گردوی ایرانی با استفاده از ۴۵ نشانگر SSR، ۳۹۰ آلل شناسایی کردند. در بیشتر گزارشات فوق‌الذکر نشانگرهای SSR به دلیل مزایای ویژه نسبت به دیگر نشانگرهای مولکولی بیشتر مورد توجه قرار شده است. از مزایای این نشانگرها می‌توان به کاربرد ساده و تفسیر نتایج آسان، مقدار بالای پلی‌مورفیسم حتی در سطح ارقام و ژنوتیپ‌های یک گونه، فراوانی و تنوع زیاد آلل‌های SSR در سطح ژنوم یوکاریوت‌ها، تکرارپذیر بودن نتایج و در نهایت قابل‌انتقال بودن آن در سطح گونه‌های نزدیک (Naghavi et al., 2005)، هم‌بارز بودن آن‌ها و

در حالت Admixture با ۵۰۰۰۰ بار Burn-in و ۵۰۰۰۰ بار تکرار MCMC در مقادیر مختلف K (از ۱ تا ۲۰ و ۱۰ تکرار برای هر K) استفاده شد. میانگین شاخص تثبیت (Fst) و ماتریس سهم عضویت (Q) برای مقدار بهینه K با استفاده از همین نرم افزار محاسبه شد.

نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده، بیست مکان SSR مورد استفاده در این پژوهش در مجموع ۱۳۸ آلل در ۱۴۰ نهال گردو شناسایی کردند. مکان‌های WGA69، WGA71 و JRHR211298 (۵ آلل) کمترین و WGA202 (۹ آلل) بیشترین تعداد آلل را دارا بودند (شکل ۱). تعداد آلل‌های مؤثر از ۳/۵۳ تا ۷/۱۰ متغیر و میانگین آن ۵/۰۳ بود که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به مکان‌های JRHR211298 و JRHR217037 بود. میانگین هتروزیگوتی مشاهده شده در تمام مکان‌های ژنی ۰/۳۲ بود. که مکان‌های WGA69 بیشترین مقدار این شاخص را نشان داد. میانگین هتروزیگوتی مورد انتظار در جمعیت بررسی شده برای ۲۰ مکان SSR با ۰/۷۹ بود. همچنین کمترین و بیشترین مقدار هتروزیگوتی مورد انتظار به ترتیب توسط مکان‌های JRHR211298 و JRHR217037 تولید شد (جدول ۱). بررسی مقدار انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ در جمعیت مورد بررسی نشان داد که مقدار آماره کای اسکور برای تمام مکان‌ها معنی دار است ($p \leq 0.001$) که نشان دهنده انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ مکان‌های SSR مورد استفاده در جمعیت مورد بررسی است. تجزیه خوشه‌ای به روش اتصال مجاور (Neighbour Joining) نیز که با یافتن پی‌درپی جفت‌های نزدیک به هم و اتصال جفت خروجی‌ها با یک گره داخلی رسم

(Applied Biosystem, USA) در حجم ۲۰ میکرولیتری شامل ۲۰ نانوگرم DNA ژنومی، بافر استخراج 10X، کلرید منیزیم ۲۵ میلی‌مول، ۰/۲ میلی-مول از هر dNTPs، یک واحد آنزیم Taq DNA polymerase و یک میکرومول از هر کدام از آغازگرهای مستقیم (Forward) و معکوس (Reverse) انجام شد. چرخه حرارتی واکنش‌های PCR شامل یک مرحله واسرشت سازی اولیه در دمای ۹۴ درجه به مدت پنج دقیقه، سپس ۳۵ چرخه شامل ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵۰ ثانیه، اتصال در دمای مناسب برای هر جفت آغازگر (جدول ۱) به مدت ۴۰ ثانیه، بسط در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت یک دقیقه و در پایان چرخه‌ها بسط نهایی در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت هفت دقیقه انجام شد. الکتروفورز محصولات PCR با استفاده از ژل آگارز سه درصد با ولتاژ ۸۰ به مدت دو تا سه ساعت انجام شد و پس از رنگ‌آمیزی با اتیدیوم بروماید، عکس‌برداری با استفاده از دستگاه ژل داکيومنت بیورد (Gel logic 212pro, Carestream, BioRad, USA) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

باند‌های حاصل از نشانگرهای SSR به صورت هم‌بازر امتیازدهی شدند و شاخص‌های مرتبط با تنوع ژنتیکی شامل میانگین هتروزیگوتی مورد انتظار (He) و مشاهده شده (Ho)، شاخص اطلاعاتی شانون (I)، تعداد آلل‌های مؤثر (Ne) و انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ برای مکان‌های SSR با استفاده از نرم‌افزار GenAIEx6.4 (Peakall and Smous, 2006) محاسبه شد. گروه‌بندی افراد با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش Neighbour Joining با نرم‌افزار Tassel 3.0 (Bradbury et al., 2007) انجام شد. برای تعیین گروه‌های احتمالی و بررسی ساختار ژنتیکی جمعیت، از نرم‌افزار Structure 2.3.1 (Pritchard et al., 2000)

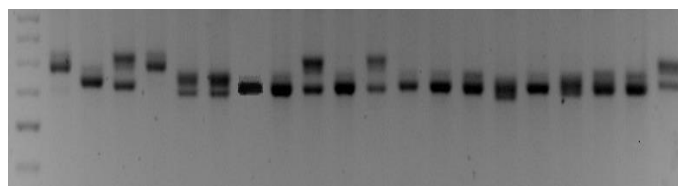
می‌شود و تلاش دارد تا شبیه‌ترین خروجی‌ها را (Bakhsh, 2010)، ۱۴۰ نهال گردو را در پنج گروه خوشه‌بندی کند (Nassaj Hosseini and Shams- عمده قرار داد (شکل ۲).

جدول ۱- برخی شاخص‌های ژنتیکی در جمعیت گردو مورد بررسی بر اساس ۲۰ مکان SSR

Table 1. Some genetic characteristics in the walnut population studied based on 20 SSR loci

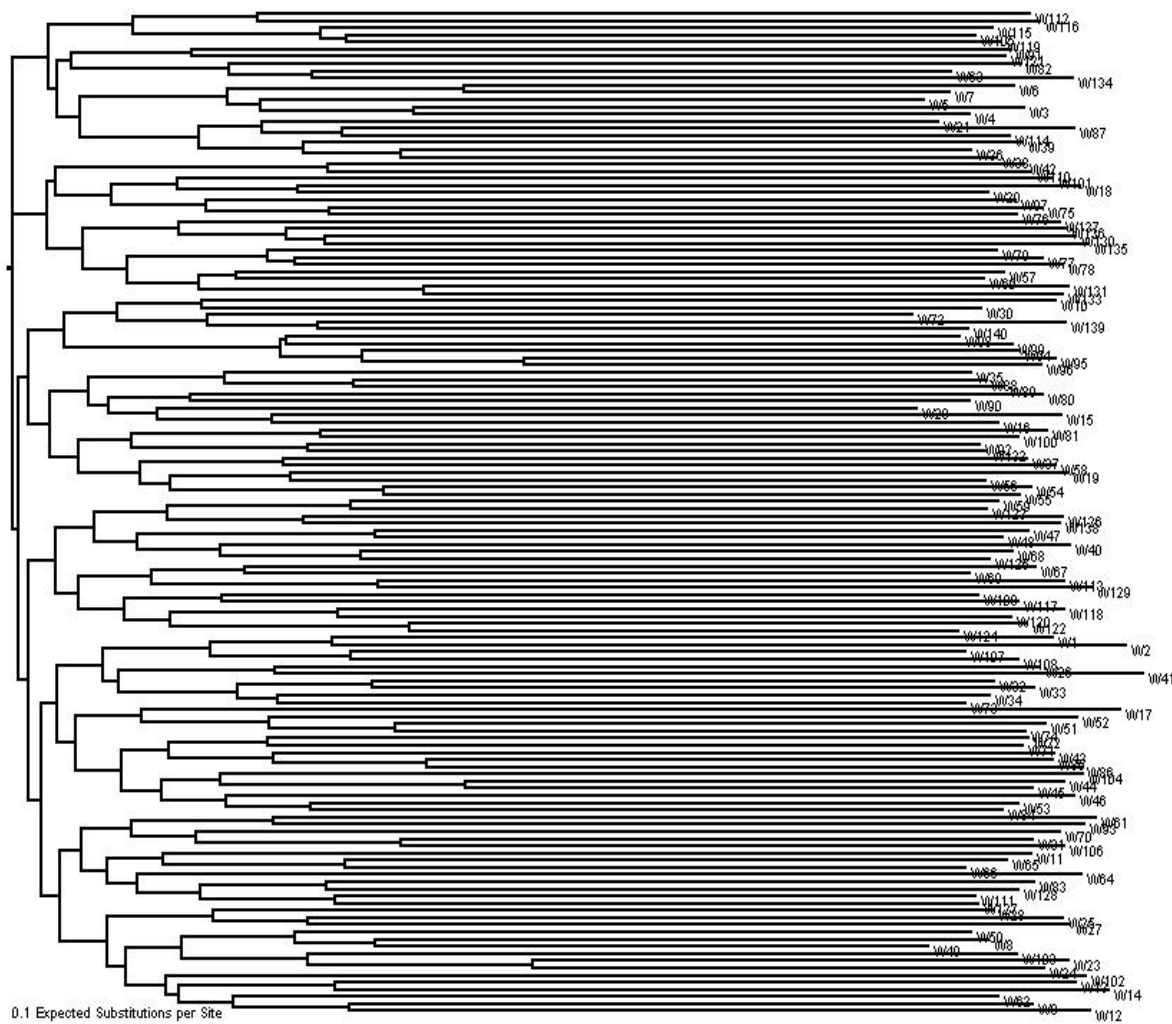
انتظار (He) Expected heterozygosity (He)	شده (Ho) Observed heterozygosity (Ho)	شاخص شانون (I) Shannon Index (I)	تعداد آل مؤثر (Ne) Number of effective alleles (Ne)	تعداد آل (Na) Number of alleles (Na)	دمای اتصال (درجه سانتی- گراد) (Tm) Annealing temperature (°C) (Tm)	آغازگر Primer
0.81	0.22	1.85	5.18	8	58	WGA1
0.76	0.06	1.55	4.16	6	58	WGA4
0.82	0.36	1.86	5.49	8	57	WGA9
0.76	0.98	1.52	4.23	5	58	WGA69
0.73	0.10	1.41	3.65	5	59	WGA71
0.81	0.00	1.72	5.22	6	58	WGA89
0.83	0.44	1.88	5.88	8	59	WGA118
0.82	0.34	1.90	5.52	9	60	WGA202
0.75	0.34	1.58	3.98	7	58	WGA276
0.75	0.38	1.53	4.06	6	57	WGA321
0.86	0.36	2.00	7.10	8	53.5	JRHR217037
0.77	0.28	1.64	4.35	8	55.3	JRHR207652
0.72	0.04	1.36	3.53	5	53.2	JRHR211298
0.84	0.66	1.88	6.22	7	52.4	JRHR225189
0.82	0.56	1.80	5.44	8	47.7	JRHR225564
0.77	0.34	1.66	4.40	7	47.7	JRHR214591
0.80	0.00	1.68	5.10	6	55.3	JRHR212067
0.80	0.42	1.68	5.02	6	50.5	JRHR209244
0.82	0.26	1.88	5.71	8	51.1	JRHR211717
0.84	0.20	1.94	6.33	8	53.5	JRHR217272
0.79	0.32	1.72	5.03	6.90	55.11	میانگین Mean

300 bp ۳۰۰ bp
250 bp ۲۵۰ bp
200 bp ۲۰۰ bp



شکل ۱- الگوی بانندی آغازگر WGA202 روی برخی از نهال‌های گردو (جفت بازها مربوط به باندهای حاصل از لدر ۵۰ bp هستند).

Figure 1. WGA202 primer band pattern on some walnut seedlings (The base pairs belong to the bands derived from the 50 bp leader)

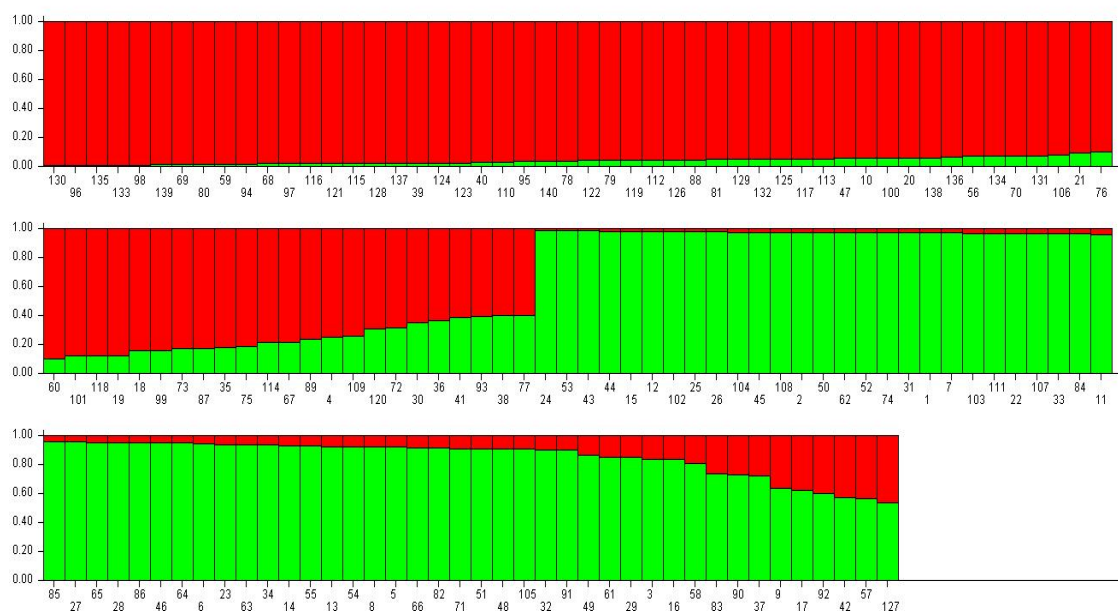


شکل ۲- دندروگرام ۱۴۰ نهال گردو به روش تجزیه خوشه‌ای به روش Neighbour Joining بر اساس ۲۰ مکان SSR
 Figure 2. Dendrogram of 140 walnut seedlings by cluster analysis by Neighbor Joining method based on 20 SSR loci

بسیار زیاد است (Cho et al., 2008). در همه گروه‌ها، مقادیر متوسط F_{st} کمتر از ۰/۲ بود که حاکی از تمایز پایین بین گروه‌ها است. در بارپلات ارائه شده توسط نرم‌افزار Structure (شکل ۳) محور افقی مربوط به نهال‌ها و محور عمودی سهم تعلق هر فرد به هر گروه را نشان می‌دهد. همچنین در این پلات هر گروه با رنگی متمایز مشخص شده است به طوری که دو رنگ مجزا از هم برای هر فرد نشان‌دهنده تعلق آن فرد به یکی از گروه‌ها یا هر دو گروه است. تداخل رنگ‌ها برای هر فرد نشان‌دهنده تمایز بسیار پایین بین گروه‌ها

برای تعیین گروه‌های احتمالی و تأیید گروه‌های متمایز حاصله از تجزیه خوشه‌ای نهال‌های مورد بررسی، تجزیه ساختار ژنتیکی جمعیت با استفاده از نرم‌افزار Structure 2.3.1 انجام شد. پس از انجام محاسبه مقادیر مختلف K (براساس روش ΔK)، مقدار $K=2$ مناسب‌ترین عدد برای محاسبه متوسط شاخص تثبیت (F_{st}) برای هر گروه برآورد شد (جدول ۳). مقدار F_{st} می‌تواند از ۰ تا ۰/۰۵، ۰/۰۵ تا ۰/۱۵، ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ و بالای ۰/۲۵ متغیر باشد که به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف ژنتیکی کم، متوسط، زیاد و

و تعلق فرد به هر دو گروه است. که به‌عنوان نمونه-های مختلط معرفی می‌شوند که سهم عضویت آن‌ها در هر دو گروه تقریباً برابر است. در باریلات حاصل، وقتی درصد عضویت یک ژنوتیپ به خوشه‌ای بیشتر یا مساوی ۰/۷ باشد، ژنوتیپ به آن خوشه نسبت داده می‌شود، ولی در صورتی که درصد عضویت آن کمتر از این مقدار باشد، به‌عنوان ژنوتیپ مختلط در نظر شده می‌شود (Charney, 2010). محاسبه ماتریس سهم عضویت (جدول ۴) هر فرد به گروه‌ها نشان داد که هر فرد با چه ضریبی به هر یک از گروه‌ها تعلق دارد.



شکل ۳- باریلات رسم‌شده توسط نرم‌افزار Structure 2.3.1 بر مبنای داده‌های حاصل از ۲۰ مکان SSR، محور افقی مربوط به نهال‌ها و محور عمودی سهم تعلق هر فرد به هر گروه را نشان می‌دهد.

Figure 3. The barplot drawn by Structure 2.3.1 software, based on data from 20 SSR loci, shows the horizontal axis of the seedlings and the vertical axis the share of each individual belonging to each group.

جدول ۳- مقادیر F_{st} و هتروزایگوسیتی مورد انتظار برای هر گروه احتمالی در جمعیت گردوی مورد بررسی بر مبنای $k=2$

Table 3. Expected F_{st} and heterozygosity values for each possible group in the studied walnut population based on $k=2$

متوسط هتروزایگوتی مورد انتظار Expected average heterozygosity	متوسط F_{st} Average of F_{st}	گروه Group
1.30	0.038	I
1.31	0.049	II

جدول ۴- ماتریس سهم عضویت (ماتریس Q) محاسبه شده توسط نرم افزار Structure 2.3.1 برای نهال‌های گردو بر مبنای $k=2$ Table 4. Membership share matrix (Q matrix) calculated by Structure 2.3.1 software for walnut seedlings based on $k=2$

گروه ۲	گروه ۱	نهال‌ها	گروه ۲	گروه ۱	نهال‌ها	گروه ۲	گروه ۱	نهال‌ها
Q ₂	Q ₁	Sample	Q ₂	Q ₁	Sample	Q ₂	Q ₁	Sample
0.04	0.96	W95	0.91	0.09	W48	0.97	0.03	W1
0.01	0.99	W96	0.87	0.13	W49	0.98	0.02	W2
0.02	0.98	W97	0.98	0.02	W50	0.84	0.16	W3
0.01	0.99	W98	0.91	0.09	W51	0.25	0.75	W4
0.16	0.84	W99	0.97	0.03	W52	0.92	0.08	W5
0.06	0.94	W100	0.99	0.01	W53	0.95	0.05	W6
0.12	0.88	W101	0.93	0.07	W54	0.97	0.03	W7
0.98	0.02	W102	0.93	0.07	W55	0.92	0.08	W8
0.97	0.03	W103	0.07	0.93	W56	0.64	0.36	W9
0.98	0.02	W104	0.57	0.43	W57	0.06	0.94	W10
0.91	0.09	W105	0.81	0.19	W58	0.96	0.04	W11
0.08	0.92	W106	0.02	0.98	W59	0.98	0.02	W12
0.97	0.03	W107	0.10	0.90	W60	0.93	0.07	W13
0.98	0.02	W108	0.86	0.14	W61	0.94	0.06	W14
0.26	0.74	W109	0.98	0.02	W62	0.98	0.02	W15
0.03	0.97	W110	0.94	0.06	W63	0.84	0.16	W16
0.97	0.03	W111	0.95	0.05	W64	0.62	0.38	W17
0.05	0.95	W112	0.96	0.04	W65	0.16	0.84	W18
0.06	0.94	W113	0.92	0.08	W66	0.13	0.87	W19
0.22	0.78	W114	0.22	0.78	W67	0.06	0.94	W20
0.02	0.98	W115	0.02	0.98	W68	0.10	0.90	W21
0.02	0.98	W116	0.02	0.98	W69	0.97	0.03	W22
0.05	0.95	W117	0.08	0.92	W70	0.94	0.06	W23
0.13	0.87	W118	0.91	0.09	W71	0.99	0.01	W24
0.04	0.96	W119	0.32	0.68	W72	0.98	0.02	W25
0.31	0.69	W120	0.17	0.82	W73	0.98	0.02	W26
0.02	0.98	W121	0.97	0.03	W74	0.96	0.04	W27
0.04	0.96	W122	0.19	0.81	W75	0.95	0.05	W28
0.03	0.97	W123	0.10	0.90	W76	0.85	0.15	W29
0.03	0.97	W124	0.40	0.60	W77	0.35	0.65	W30
0.05	0.95	W125	0.04	0.96	W78	0.97	0.03	W31
0.05	0.95	W126	0.04	0.96	W79	0.90	0.10	W32
0.54	0.46	W127	0.02	0.98	W80	0.97	0.03	W33
0.02	0.98	W128	0.05	0.95	W81	0.94	0.06	W34
0.05	0.95	W129	0.91	0.09	W82	0.18	0.82	W35
0.01	0.99	W130	0.74	0.26	W83	0.37	0.63	W36
0.08	0.92	W131	0.96	0.04	W84	0.73	0.27	W37
0.05	0.95	W132	0.96	0.04	W85	0.40	0.60	W38
0.01	0.99	W133	0.95	0.05	W86	0.03	0.97	W39
0.07	0.93	W134	0.18	0.82	W87	0.03	0.97	W40
0.01	0.99	W135	0.05	0.95	W88	0.39	0.61	W41
0.07	0.93	W136	0.24	0.76	W89	0.58	0.42	W42
0.02	0.98	W137	0.73	0.27	W90	0.99	0.01	W43
0.06	0.94	W138	0.90	0.10	W91	0.98	0.02	W44
0.02	0.98	W139	0.60	0.40	W92	0.98	0.02	W45
0.04	0.96	W140	0.40	0.60	W93	0.95	0.05	W46
			0.02	0.98	W94	0.06	0.94	W47

اعداد متن جدول ضریب تعلق هر فرد به گروه‌های احتمالی را نشان می‌دهد.

The text numbers in the table show the coefficient of belonging of each person to the possible groups.

Dangle et al. از ۱۴ نشانگر SSR برای شناسایی ۴۷

ژنوتیپ گردوی ایرانی و ۱ پایه هیبرید استفاده کردند و به ازای هر مکان ژنی سه تا هشت آل را شناسایی کردند. (Victori et al. (2006) با کاربرد همین

بحث

با پژوهش تنوع ژنتیکی ۱۴۰ نهال گردو با ۲۰ مکان ژنی SSR، در مجموع ۱۳۸ آل شناسایی شد که تعداد آل‌ها برای هر مکان ژنی از ۵ تا ۹ متغیر بود. (2005)

گردوهای این پژوهش ۶/۹ و مقدار شاخص شانون ۱/۷۲ بود. درحالی‌که در پژوهش انجام‌شده توسط Karimi et al. (2008) بر روی ۲۸ ژنوتیپ از ۴ توده گردوی ایرانی در استان همدان با استفاده از ۱۱ نشانگر SSR، میانگین تعداد آل‌های مشاهده‌شده برای جمعیت‌های گردو ۳/۲۵ بود و میانگین شاخص شانون برای کلیه توده‌ها ۰/۹۳ بود. تفاوت موجود احتمالاً به-خاطر گزینش برای صفات مطلوب در جمعیت‌های گردو در استان همدان و بنابراین کاهش تنوع آلی در این جمعیت‌ها و همچنین کم‌بودن تعداد نمونه‌های بررسی شده باشد. در پژوهشی دیگر، (2001) Fornari et al. با بررسی تنوع ژنتیکی توده‌های گردوی آسیایی و اروپایی با استفاده از نشانگرهای آلوزایم و ایزوزایم ۲/۲۹-۲/۱۴ آل در هر جمعیت شناسایی کردند. کم‌بودن میانگین تعداد آل‌های مشاهده شده در بررسی (2001) Fornari et al. نسبت به این پژوهش می‌تواند به توانایی بالاتر نشانگر SSR در نشان دادن چندشکلی ژنتیکی در جمعیت‌ها نسبت به آلوزایم و ایزوزایم مرتبط باشد. در پژوهش کنونی همه مکان‌های SSR مورد استفاده انحراف معنی‌داری را از تعادل هاردی-واینبرگ نشان دادند. هرچه انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ بیشتر باشد هتروزیگوتی کاهش یافته و در نتیجه مقدار تنوع کاهش می‌یابد. عدم برقراری تعادل هاردی واینبرگ در جمعیت مورد بررسی با توجه به دگرگشت بودن گردو می‌تواند به دلیل انتقال منابع ژنتیکی در نمونه‌های مورد بررسی و تحت تأثیر گزینش بوده باشد (Karimi et al., 2008). Ebrahimi et al. (2016) و همکاران ۱۸۹ ژنوتیپ با ده مکان ژنی SSR مورد بررسی قرار دادند و ۳ تا ۲۵ آل برای هر مکان مشخص شد که زیاد-بودن تعداد آل‌ها در پژوهش آن‌ها می‌تواند ناشی از تعداد زیاد نمونه‌های مورد بررسی باشد. در پژوهش

نشانگرها تعداد ۴۶ تا ۹۰ آل به ازای هر مکان ژنی در گردوی سیاه (*Juglans nigra*) مشاهده کردند که برای تمام مکان‌های ژنی تعداد آل گزارش شده بیشتر از مقدار مشاهده‌شده در این بررسی بود. این تفاوت در تعداد آل‌ها می‌تواند ناشی از وحشی‌بودن توده‌های گردوی سیاه و عدم دخالت‌های بشری در آن‌ها و تفاوت در محیط اکوجغرافیایی باشد. در بررسی تنوع ژنتیکی ۲۸ ژنوتیپ گردوی ایرانی با استفاده از ۱۱ نشانگر SSR توسط Karimi et al. (2008) در مجموع ۴۷ آل شناسایی شد که تعداد آل در هر مکان از ۲ تا ۹ متغیر بود. حداکثر تعداد آل در این بررسی در مکان WGA276 (۹ آل) بود. که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. در بررسی دیگر که توسط Mahmoodi et al. (2013) بر روی ۱۶ نمونه از بانک ژن و ۵ رقم از گردوی ایرانی انجام شد میانگین تعداد آل‌ها در هر مکان ۴/۲۵ گزارش شد که با میانگین تعداد آل در هر مکان در این پژوهش (۶/۹) با توجه به زیادبودن تعداد نمونه‌های مورد بررسی تا حدودی مطابقت دارد. تطابق بین این پژوهش‌ها با بررسی حاضر احتمالاً به دلیل یکسانی منشأ نمونه‌های مورد بررسی است. در پژوهش انجام شده توسط (2016) Taheri et al. که ۶۲ نهال گردوی ایرانی با استفاده از ۱۰ مکان SSR مورد بررسی قرار شد در مجموع ۵۳ آل تولید شد. حداقل و حداکثر تعداد آل به ترتیب برابر ۴ و ۷ بود. میانگین تعداد آل در هر مکان ۵/۳ و تعداد آل‌های مؤثر ۴/۳۰ و شاخص شانون نیز ۱/۵۲ گزارش شد. بیشتر بودن تعداد آل‌های مشاهده شده در هر مکان ژنی در پژوهش کنونی می‌تواند به دلیل تعداد بالای نمونه‌ها باشد. که با توجه به کم‌بودن تعداد نمونه‌ها و مکان‌های ژنی مورد استفاده در مقایسه با این پژوهش، نتایج هر دو پژوهش با هم مطابقت دارند. میانگین تعداد آل‌های مشاهده‌شده در

فرانسوی، گروه ترکی دارای مقادیر متوسط تنوع ژنتیکی بالاتر از گروه آمریکایی-فرانسوی بود. به عنوان مثال، مقادیر Na ، Ne ، Ho و He در گروه ترکی به ترتیب $۶/۸$ ، $۵/۱$ ، $۰/۷۹$ و $۰/۸۴$ بود، در حالی که در گروه آمریکایی-فرانسوی به ترتیب $۶/۱$ ، $۴/۴$ ، $۰/۷۶$ و $۰/۸۱$ بود. در پژوهش کنونی نیز این مقادیر به ترتیب برابر با $۶/۹$ ، $۵/۰۳$ ، $۰/۳۱$ و $۰/۸۰$ بود. تعداد آلل‌ها و همچنین تعداد آلل‌های مؤثر در این بررسی بیشتر از مقادیر مشاهده شده در هر دو گروه ترکی و آمریکایی-فرانسوی بود به طوری که این مقادیر نزدیک به مقادیر گزارش شده مربوط به گونه‌های ترکی است که با توجه به پدیده دگرگشتی و نزدیکی این دو منطقه به هم مطابقت داشتن نتایج منطقی به نظر می‌رسد.

تجزیه ساختار جمعیت و تأیید گروه‌بندی با استفاده از روش *Admixture*، دو گروه احتمالی را شناسایی کرد ولی مقادیر پایین *Fst* و ضرایب تعلق افراد به گروه‌ها نشان داد که هر نمونه به کدام گروه تعلق دارد. به طوری که تمام نمونه‌های گردوی مورد بررسی به جز تعداد اندکی از آن‌ها به هر دو گروه تعلق داشتند (جدول ۴). آنالیزهای *Neighbour Joining* و نرم‌افزار *Structure 2.3.1* تا حد زیادی با هم هم‌خوانی داشتند. به طوری که بیشتر افراد متعلق به یک گروه در بارپلات رسم شده توسط نرم‌افزار *Structure 2.3.1*، در گروه‌بندی انجام شده بر اساس روش *Neighbour Joining* در نرم‌افزار *Tassel 3.0* نیز متعلق به همان گروه یا گروه‌های نزدیک به آن بودند. شباهت زیاد و عدم تمایز کافی بین گروه‌های احتمالی می‌تواند حاکی از وجود پایه‌های مادری مشابه و گرده‌افشانی یکنواخت و همچنین پدیده دگرگشتی موجود بین نهال‌های گردو باشد. این احتمال نیز وجود دارد که انتخاب نهال‌های مورد بررسی برای پرورش در نهالستان به صورت انتخابی و بر اساس یک

انجام شده توسط ایشان میانگین هتروزیگوتی مشاهده شده و هتروزیگوتی مورد انتظار به ترتیب $۰/۶۲$ و $۰/۷۳$ بود. میانگین شاخص تثبیت میان منطقه‌ها به نسبت کم بود. و همچنین نرم‌افزار *Structure (Fst=۰/۰۷)* بود. و همچنین جمع‌آوری شده را در دو گروه اصلی طبقه‌بندی کرد. (Guney et al. (2021) تنوع ژنتیکی میان ۹۱ نمونه گردوی ایرانی را با استفاده از ۴۵ نشانگر *SSR* مورد بررسی قرار دادند. در مجموع ۳۹۰ آلل شناسایی شد. تعداد آلل‌ها در هر مکان بین ۳ تا ۱۹ آلل با میانگین مقدار ۹ آلل در هر مکان متغیر بود. در بررسی تنوع ژنتیکی سیب شرقی (*Malus orientalis*) در شش رویشگاه مختلف جنگل‌های هیرکانی ایران با استفاده از شش جفت نشانگر *SSR* توسط (Rostami et al. (2019) شده $۸/۵۸$ ، و میانگین آلل‌های مؤثر $۷۰/۳۰$ گزارش شد. (Eser et al. (2019) ۸۰۰ پرایمر *SSR* را طراحی کرده و بر روی هشت رقم ترکی، سه رقم فرانسوی و پنج رقم آمریکایی از *Juglans regia* آزمایش کردند که ۸۸ پرایمر (۱۱ درصد) باند تولید نکردند، ۱۶۱ پرایمر (۲۰/۱ درصد) مونومورفیسم و ۵۵۱ پرایمر (۶۸/۹ درصد) پلی‌مورفیسم نشان دادند. دندروگرام *UPGMA* نشان داد که ارقام گردو بر اساس منشأشان به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند. همه ارقام ترکی در یک گروه قرار شدند، در حالی که ارقام آمریکایی-فرانسوی در گروه دوم قرار شدند و به عبارت دیگر نشان دادند که نشانگرهای *SSR* توانستند ارقام مختلف گردو را از هم جدا کنند. در این بررسی برای استفاده از بهترین *SSR*ها، ۲۰ جایگاه *SSR* با بالاترین مقادیر تنوع ژنتیکی برای پژوهش‌های بیشتر در مورد خصوصیات ژرم پلاسم، شناسایی والدین، ژنتیک جمعیت و تنوع ژنتیکی در گردو تعیین شد و در تجزیه و تحلیل جداگانه گروه‌های ترکی و آمریکایی-

راه‌های مطمئن برای دستیابی به هتروزیس بالا، استفاده از مواردی است که دارای کمترین خویشاوندی باشند. بهتر است برای مشخص شدن گروه‌هایی با فاصله ژنتیکی مناسب، تعداد زیادی نهال گردو با نشانگرهای دیگر به همراه ویژگی‌های مورفولوژیک و رابطه خویشاوندی آن‌ها نیز مورد بررسی قرار بگیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه که امکانات لازم برای انجام این پژوهش را فراهم کردند، صمیمانه تشکر کنند.

References

- Aly, M. A.; Fjellstrom, R. G.; McGranahan, G. H.; Parfitt, D. E., Origin of walnut somatic embryos determined by RFLP and isozyme analysis. *HortScience* **1992**, *27* (1), 61-63.
- Bayazit, S.; Kazan, K.; Gülbitti, S.; Cevik, V.; Ayanoğlu, H.; Ergül, A., AFLP analysis of genetic diversity in low chill requiring walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from Hatay, Turkey. *Scientia Horticulturae* **2007**, *111* (4), 394-398.
- Bradbury, P. J.; Zhang, Z.; Kroon, D. E.; Casstevens, T. M.; Ramdoss, Y.; Buckler, E. S., TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics* **2007**, *23* (19), 2633-2635.
- Charney, M., Sunflower seeds and their products. *Journal of Agricultural & Food Information* **2010**, *11* (2), 81-89.
- Cho, G.-T.; Lee, J.-R.; Moon, J.-K.; Yoon, M.-S.; Baek, H.-J.; Kang, J.-H.; Kim, T.-S.; Paek, N.-C., Genetic diversity and population structure of Korean soybean landrace [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **2008**, *11* (2), 83-90.
- Dangl, G. S.; Woeste, K.; Aradhya, M. K.; Koehmstedt, A.; Simon, C.; Potter, D.; Leslie, C. A.; McGranahan, G., Characterization of 14 microsatellite markers for genetic analysis and cultivar identification of walnut. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **2005**, *130* (3), 348-354.
- Doyle, J. J., Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* **1990**, *12*, 13-15.
- Ebrahimi, A.; Zarei, A.; Lawson, S.; Woeste, K. E.; Smulders, M., Genetic diversity and genetic structure of Persian walnut (*Juglans regia*) accessions from 14 European, African, and Asian countries using SSR markers. *Tree genetics & genomes* **2016**, *12* (6), 1-12.
- Eser, E.; Topcu, H.; Kefayati, S.; SÜTYEMEZ, M.; Islam, M. R.; Kafkas, S., Highly polymorphic novel simple sequence repeat markers from Class I repeats in walnut (*Juglans regia* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **2019**, *43* (2), 174-183.
- FAO, F., Available online at: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. *Food and Agriculture Organization* **2021**.
- Fornari, B.; Cannata, F.; Spada, M.; Malvolti, M., Allozyme analysis of genetic diversity and differentiation in European and Asiatic walnut (*Juglans regia* L.) populations. *Forest genetics* **1999**, *6* (2), 115-127.
- Fornari, B.; Malvolti, M. E.; Turchini, D.; Fineschi, S.; Beritognolo, I.; McCaglia, E.; Cannata, F., Isozym and organellar DNA analysis of genetic diversity in natural/naturalised European and Asiatic

- walnut (*Juglans regia*) populations. *Acta Horticulturae* **2001**, 544, 167-178.
- Gerard, W.K.; Crocker, T.F.; Bertrand, P.F., Minor Fruits and Nuts in Georgia. *University of Georgia* **2003**, 214 p.
- Guney, M.; Kafkas, S.; Keles, H.; Zarifikhosroshahi, M.; Gundesli, M. A.; Ercisli, S.; Necas, T.; Bujdoso, G., Genetic diversity among some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes by SSR markers. *Sustainability* **2021**, 13 (12), 6830.
- Hagh-Jooyan, R. Investigation genetic diversity of tuyserkan walnut population and four walnut collections of country by morphologic and RAPD markers. Ph. D. Thesis in Horticulture Science, Research Sciences Unit of Tehran, 2003.
- Hassani, D.; Atefi, J.; Haghjooyan, R.; Dastjerdi, R.; Keshavarzi, M.; Mozaffari, M.; Soleimani, A.; Rahmanian, A.; Nematzadeh, F.; Malmir, A., Jamal, a new Persian walnut cultivar for moderate-cold areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* **2012a**, 28-1 (3), 525-528. (In Persian)
- Hassani, D.; Atefi, J.; Haghjooyan, R.; Dastjersi, R.; Keshavarzi, M.; Mozaffari, M. R.; Soleimani, A.; Rahmanian, A. R.; Nematzadeh, F.; Malmir, A., Damavand, a new Persian walnut cultivar as a pollinator for Iranian walnut cultivars and genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal* **2012b**, 28-1, 529-531. (In Persian)
- Karimi, R.; Ershadi, A.; Vahdati, K., Analysis of genetic diversity among some Persian walnut populations of Hamedan Province using SSR markers. *Plant Production Technology* **2008**, 9 (2), 43-53.
- Mahmoodi, R.; Rahmani, F.; Rezaee, R., Genetic diversity among *Juglans regia* L. genotypes assessed by morphological traits and microsatellite markers. *Spanish journal of agricultural research* **2013**, 11 (2), 431-437.
- McGranahan, G. H. ; Charles, A. ; Leslie, C. A. ; Philips, H. A. ; Dandaker, A., Walnut Propagation. In: D. Ramos (ed.), *Walnut Production Manual* **1998**, pp, 71-83.
- Naghavi, M.; Gharayazi, B.; Hosseini, Gh., Molecular Markers. Tehran University Press, **2005**; 350 pp. (In Persian)
- Nassaj Hosseini, M.; Shams-Bakhsh, M. Phylogenetic analysis methods. First Edition, Haghshenass press **2010**, 238 pp. (In Persian)
- Nicese, F.; Hormaza, J.; McGranahan, G., Molecular characterization and genetic relatedness among walnut (*Juglans regia* L.) genotypes based on RAPD markers. *Euphytica* **1998**, 101 (2), 199-206.
- Ovesna, J.; Poláková, K.; Leišová, L., DNA analyses and their applications in plant breeding. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* **2002**, 38 (1), 29.
- Peakall, R.; Smouse, P. E., GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular ecology notes* **2006**, 6 (1), 288-295.
- Potter, D.; Gao, F.; Aiello, G.; Leslie, C.; McGranahan, G., Intersimple sequence repeat markers for fingerprinting and determining genetic relationships of walnut (*Juglans regia*) cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **2002**, 127 (1), 75-81.
- Pritchard, J. K.; Stephens, M.; Donnelly, P., Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* **2000**, 155 (2), 945-959.
- Rostami, R.; Seyedi, N.; Yousefzadeh, H., Genetic diversity of wild apple (*Malus orientalis* Uglitz.) in hyrcanian Forests of Iran by SSR markers. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (2), 169-179.
- Ruiz-Garcia, L.; Lopez-Ortega, G.; Denia, A. F.; Tomas, D. F., Identification of a walnut (*Juglans regia* L.) germplasm collection and evaluation of their genetic variability by microsatellite markers. *Spanish Journal of Agricultural Research* **2011**, 9 (1), 179-192.
- Sehgal, D.; Raina, S.N., DNA markers and germplasm resource diagnostics: new perspectives in crop improvement and conservation strategies. In: Arya ID, Arya S (Eds) Utilization of biotechnology in plant sciences. Microsoft Printech (I) Pvt. Ltd, Dehradun, **2008**; pp, 39-54.
- Shamlu, F.; Rezaei, M.; Lawson, S.; Ebrahimi, A.; Biabani, A.; Khan-Ahmadi, A., Genetic diversity of superior Persian walnut genotypes in Azadshahr, Iran. *Physiology and Molecular Biology of Plants* **2018**, 24 (5), 939-949.
- Taheri, A.; Seyedi, N.; Abdollahi Mandoulakani., SSR-based assessment of genetic diversity in Iranin walnut (*Juglans regia* L.). *Journal of forest and wood product* **2016**, 68 (2), 277-286. (In Persian)

- Vahdati, K.; Zareie, N., Evaluation of side-stub and hypocotyle grafting efficiency for walnut propagation in Iran. *Acta Horticulturae* **2006**, 705, 175-179.
- Vahedi, A. A.; Bijani, A. R.; Khatib-Nia, E., Spatial analysis and long-term dynamics for above-ground biomass of Caspian poplar (*Populus caspica* Bornm.) in developmental stages of natural stands in Nour Forest Park. *Forest Research and Development* **2016**, 2 (3), 257-271.
- Woeste, K.; Burns, R.; Rhodes, O.; Michler, C., Thirty polymorphic nuclear microsatellite loci from black walnut. *Journal of Heredity* **2002**, 93, 58-60.

Genetic diversity in Persian walnut (*Juglans regia* L.) seedlings using SSR markers

A. Taheri¹, N. Seyedi^{*2}, B. Abdollahi Mandoulakani³, Gh. Mirzaghaderi⁴, S. Najafi⁵, K. Vahdati⁶

1- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran.
(Taheri_ayda@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (n.seyedi@urmia.ac.ir)

3- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (b.abdollahi@urmia.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran. (gh.mirzaghaderi@uok.ac.ir)

5- Assistant Professor, Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Van Yuzuncu Yil University, Van, Turkey. (solmaznajafi.agri@gmail.com)

6- Professor, Department of Horticulture, College of Aburaihan, Pakdasht, University of Tehran, Tehran, I. R. Iran. (kvahdati@ut.ac.ir)

Received: 30.06.2021 Accepted: 15.09.2021

Abstract

The first and basic step in identification, conservation, protection of gene resources, genetic research, and breeding programs is determination of genetic diversity in plant material. Using of molecular markers is one of the most important tools in this field. Therefore, the conservation and evaluation of genetic diversity of native plants is necessary. In order to evaluate the genetic diversity of 140 Iranian walnut seedlings, 20 SSR primer pairs were used. The used SSR loci generated 138 alleles. The minimum and maximum number of alleles were for SSR loci WGA69, WGA71, JRHR211298 (five alleles) and WGA202 (nine alleles), respectively. Loci JRHR211298 and loci JRHR217037 produced the minimum and maximum number of effective alleles, respectively. The most value of observed heterozygosity (H_o) generated by loci WGA69. All used SSR loci, showed deviation ($P \leq 0.001$) from Hardy–Weinberg. Neighbour-joining dendrogram divided 140 walnut seedlings into five main groups. The study of population structure, with Structure 2.3.1 software, identified two possible groups ($k=2$). The results of both were largely consistent. The data based on the individual membership share matrix and the F_{st} rate showed that there was no significant difference between two possible groups.

Keywords: Cluster analyses, Hardy–Weinberg equilibrium, Observed heterozygosity.

* Corresponding author

Tel: +989144474598

نقش گونه‌های پرستار در استقرار زادآوری طبیعی در جنگل‌های زاگرس جنوبی (جنگل وزگ، یاسوج)

محمدامین سادات^۱، سهراب الوانی نژاد*^۲، علیرضا صالحی^۳، یوسف عسکری^۴ و پرویز غلامی^۵

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. (amin.sadat90@gmail.com)

۲- استادیار، گروه جنگل-مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. (salvaninejad@yu.ac.ir)

۳- استادیار، گروه جنگل-مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. (asalehi@yu.ac.ir)

۴- استادیار، پژوهش بخش تحقیقات جنگل، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. (yousefaskari@gmail.com)

۵- دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ساری، ایران. (gholami.parviz@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده

در این پژوهش اثر فرم‌های مختلف پرستاری روی استقرار زادآوری طبیعی در جنگل‌های وزگ حوزه شهرستان بویراحمد بررسی شد. عرصه‌ای به مساحت شش هکتار انتخاب و نوع گونه و فرم پرستاری و نوع گونه هدف (زادآوری) بررسی شد. در مجموع ۱۴ گونه چوبی پرستار به تعداد ۴۲۳ اصله در منطقه پژوهش ثبت شد که در بین آن‌ها دو گونه خاردار ارژن (*Amygdalus lycioides* Spach.) و گلابی وحشی (*Pyrus glabra* Boiss.) به ترتیب با ۱۹۵ و ۷۷ اصله بیشترین تعداد را به خود اختصاص دادند. همچنین از تعداد ۹۱۲ اصله زادآوری (گونه هدف) موجود در زیر تاج پوشش گیاهان پرستار و سنگ‌ها بیشترین تعداد به گونه‌های دافنه (*Daphne mucronata* Royle.)، ارژن، گیلاس وحشی (*Prunus* Sp.) و شن (*Lonicera nummularifolia* Jaub. & Spach) تعلق داشت. تحلیل RDA نیز نشان داد زادآوری گونه‌های هدف تحت تأثیر گیاهان پرستار ارژن و گلابی وحشی است. نتایج این پژوهش نشان داد زادآوری گونه‌های چوبی در این منطقه به استثناء گونه ارژن به حفاظ و پرستار وابسته است. این موضوع بیانگر نقش گونه‌های پرستار در استقرار زادآوری در جنگل‌های نیمه خشک زاگرس است که می‌تواند به عنوان یک الگو در برنامه‌های احیاء جنگل در دیگر مناطق زاگرس استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: زادآوری جنگل، زاگرس جنوبی، گونه‌های چوبی خاردار، گونه‌های هدف.

مقدمه

افزایش رطوبت خاک، افزایش مواد آلی و غیره) و همچنین جلوگیری از چراندن به وسیله وحوش و دام‌های اهلی محافظت می‌کنند (Damizadeh et al., 2009). این اثرها بیشتر در محیط‌هایی که عوامل غیرزنده یا گیاهخواری عملکرد گیاهان را محدود می‌کند، برای مثال در مناطق خشک و نیمه‌خشک (Flores and Jurado, 2003) مشهود است. بیشتر گیاهان پرستار دارای فرم رویشی بوته‌ای، درختچه‌ای و در برخی موارد علفی هستند و اغلب این گونه‌ها مجهز به اندام‌گیاهی تیغ یا خار هستند. البته همه گونه‌های پرستار، اثر مثبتی در استقرار و حفاظت از زادآوری‌ها ندارند؛ بلکه برخی از آن‌ها در این فرآیند بی‌تأثیر بوده و برخی دیگر حتی می‌توانند با ایجاد رقابت، تأثیرات منفی برای استقرار و رویش زادآوری را فراهم آورند (Gomez-Aparicio et al., 2004). در ارتباط با تعاملات بین گونه‌های جنگلی، پژوهشگران ابتدا بیشترین تأکید را روی برهمکنش‌های منفی مانند رقابت (Tofts and Silvertown, 2002) و آللوپاتی (Rice, 1984) در جوامع گیاهی داشتند، اما سال‌های اخیر، اهمیت برهم‌کنش‌های مثبت مانند تسهیل در جوامع گیاهی به اثبات رسیده است (Callaway et al., 2002; Bruno et al., 2003; Lortie et al., 2004). پژوهش‌های انجام‌شده به تأثیرات مثبت و نقش گونه‌های مختلف پرستار مانند چوج (*Salvadora persica*) در کشور ایران و در استان هرمزگان (Damizadeh et al., 2009)، گونه *Rosa rubiginosa* در مناطق کوهستانی کشور سوئیس (Vanderberghe et al., 2009) و گونه *Lupinus elegans* در جنگل‌های معتدله کشور مکزیک (Blanco-Garcia et al., 2011) در استقرار زادآوری گونه‌های هدف اشاره شده است. جنگل‌های زاگرس به دلیل کوهستانی بودن، تخریب خاک و پوشش گیاهی ضعیف، فاقد توان

زادآوری طبیعی جنگل یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در زیست‌بوم‌های جنگلی و از مهم‌ترین عوامل توسعه و پایداری آن‌ها به‌شمار می‌رود (Acharya and Shrestha, 2011). زادآوری طبیعی به‌خوبی با شرایط محیطی سازگار شده و شرایط نامساعد را به‌خوبی تحمل می‌کند و در نهایت تبدیل به آشکوب درختی می‌شود (Vacek et al., 2010). به‌طورکلی احیاء توسعه و آینده توده‌های جنگلی به‌طور اجتناب‌ناپذیری به وضعیت کمی و کیفی زادآوری طبیعی آن‌ها بستگی دارد و در صورت استمرار زادآوری، تولید مستمر جنگل محقق خواهد شد. طبیعت بدین منظور در سیر توالی و برای احیاء خود، از یک سری تمهیدات و محافظ‌های طبیعی استفاده می‌کند. یکی از این محافظ‌های طبیعی، گروهی از گونه‌های گیاهی را شامل می‌شود که به‌عنوان گیاهان پرستار (Nurse plants) شناخته می‌شوند. در مراحل اولیه چرخه زادآوری طبیعی گونه‌های چوبی در جنگل، به‌شدت تحت تأثیر وجود و یا عدم وجود تاج‌پوشش آشکوب‌های بالایی (به‌ویژه بوته‌ها و درختچه‌ها) قرار دارند؛ زیرا تاج‌پوشش آن‌ها می‌تواند تأثیرات تسهیل‌کنندگی مهمی در استقرار نهال‌های گونه‌های چوبی در جنگل داشته باشد (Callaway, 1995; Rodriguez-Garcia et al., 2011; Muhamed et al., 2013). این تأثیرات مثبت گیاهان بالغ بر نهال‌ها، به‌عنوان تأثیرات گیاهان پرستار شناخته می‌شوند. درواقع گیاهان پرستار به گونه‌هایی اطلاق می‌شود که شرایط مطلوب را برای جوانه‌زنی بذر، استقرار، رشد و زادآوری طبیعی خود و دیگر گونه‌های جنگلی (Target plants) در زیر تاج‌پوشش خود فراهم می‌آورند و از آن‌ها در مقابل شرایط سخت آب و هوایی (کاهش تابش نور خورشید، کاهش دما، کاهش تبخیر،

بین طول‌های جغرافیایی "۵۶°۳۶'۲۱" تا "۵۶°۳۹'۷۴" شرقی و عرض جغرافیایی "۳۳°۷۷'۱۴۹" تا "۳۳°۷۷'۵۰۵" شمالی واقع شده است. این منطقه در ارتفاع ۲۱۳۰ تا ۲۱۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. حداقل شیب آن دو درصد و حداکثر آن ۵۰ درصد است و دارای جهت جغرافیایی شمال غربی است. رژیم بارندگی منطقه مانند دیگر مناطق زاگرس از نوع مدیترانه‌ای و در نتیجه دارای یک دوره خشکی پنج تا هشت ماهه است که از اوایل اردیبهشت تا پایان آبان‌ماه و گاهی تا آذرماه ادامه دارد. متوسط بارندگی سالانه با استفاده از اطلاعات ۳۸ ساله ایستگاه سینوپتیک یاسوج ۷۹۶/۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است.

جمع‌آوری داده‌ها

برای انجام این پژوهش، ابتدا موقعیت منطقه مورد نظر با استفاده از عکس‌های هوایی مشخص شد. پس از انجام جنگل‌گردشی از منطقه، قطعه نمونه‌ای با مساحت حدود شش هکتار که نماینده مناسبی از توده جنگلی مورد پژوهش بود، به‌عنوان منطقه هدف انتخاب و آماربرداری صددرصد در آن اجرا شد. قبل از این مرحله، بر اساس بازدیدهای اولیه و کسب نتایج تجربی بر اساس مشاهدات بصری، سه فرم مربوط به گونه‌های پرستار، هدف و زادآوری در منطقه شاهد، طراحی و ثبت اطلاعات بر اساس فرم‌های موجود، از اواسط شهریور تا اواسط مهرماه ۱۳۹۸ انجام شد.

برای جلوگیری از اشتباهات و اجرای آسان‌تر آماربرداری صددرصد توسط آماربردار و تیم همراه، کل منطقه جنگلی مشخص شده به‌صورت نوارهایی فرضی، به طول ۱۷۵ و عرض ۲۰ متر در نظر گرفته شد و مورد آماربرداری صددرصد قرار گرفت. سپس در هر کدام از این نوارها، پس از شناسایی و ثبت گونه‌های چوبی پرستار و هدف، فراوانی هر کدام از

تولیدی بالا بوده و در زمره جنگل‌های حمایتی قرار گرفته‌اند. هرچند این جنگل‌ها جایگاه چندان مهمی از نظر تولید چوب صنعتی ندارند، اما به‌دلیل نقش مهمی که در تنظیم آب و خاک و تعادل اکولوژیک منطقه دارند، بایستی مورد توجه و ارزیابی دقیق کمی و کیفی قرار گیرند (Modaberi and Mirzaei, 2017). عواملی چون ضعف رویشگاه، چرای مفرط دام، فقر جنگل‌نشینان و برداشت‌های سنتی چوب، آتش‌سوزی و ریزگردها سبب تخریب جنگل‌های زاگرس می‌شوند و عواملی نیز مانند زراعت در زیرآشکوب، عدم زادآوری درختان، آفات و بیماری‌ها در گسترش پدیده خشکیدگی درختان نقش اساسی دارند (Mahmoudi et al., 2021). این عوامل سبب تغییر در ساختار جنگل، کاهش انبوهی تاج‌پوشش، کاهش تراکم توده جنگل و در مجموع منجر به کاهش زادآوری می‌شوند. به‌طور کلی پژوهش‌های اندکی روی نقش گیاهان پرستار در حفاظت از زادآوری طبیعی و همچنین روابط هم‌زیستی زادآوری طبیعی گونه‌های هدف (زادآوری‌ها) و گیاهان پرستار در جنگل‌های ایران انجام شده است. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، بررسی نقش گونه‌های پرستار در حفاظت از زادآوری طبیعی در بخشی از جنگل‌های زاگرس جنوبی است، که جنگل وزگ به‌دلیل دارا بودن تنوع گونه‌ای بالای گیاهان چوبی به‌عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شد. این پژوهش می‌تواند گامی مهم برای احیای این جنگل‌ها باشد.

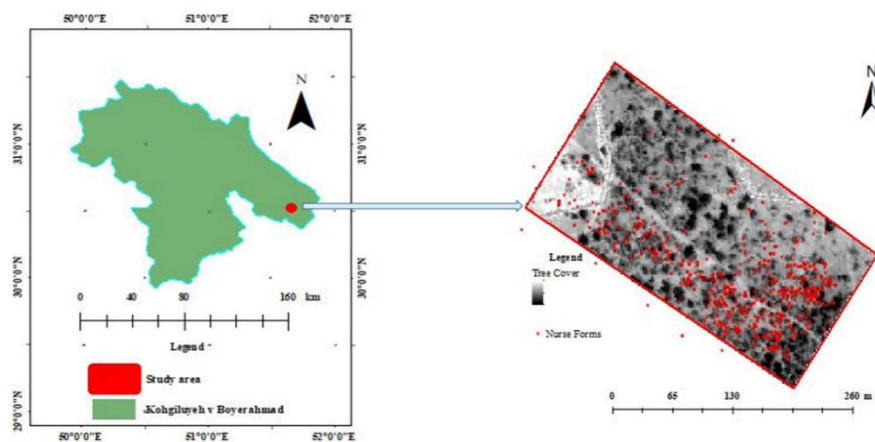
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد پژوهش بخشی از حوزه آبخیز منطقه وزگ است. این منطقه در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر یاسوج قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد پژوهش

زادآوری و ارتفاع آن‌ها به تفکیک گونه در فرم آمابرداری مربوطه ثبت شد. در این پژوهش گونه‌هایی با قطر کم‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر به‌عنوان زادآوری در نظر گرفته شد (Darabi et al., 2016). لازم به‌ذکر است که هر دو تیمار شاهد و پرستار در مجاورت یکدیگر بوده و دارای شرایط فیزیوگرافی (شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) تقریباً یکسانی بودند.

آن‌ها در فرم‌هایی که از قبل تهیه شده بودند، ثبت شد. علاوه بر این، برای مطالعه زادآوری در تیمار شاهد (خارج از تاج‌پوشش گیاهان پرستار) و مقایسه آن با زادآوری در تیمار پرستار با استفاده از متر نواری، چهار نوار به طول ۱۷۵، عرض ۲۰ و فاصله ۸۰ متر از یکدیگر به‌صورت منظم-تصادفی در امتداد عرض منطقه مورد پژوهش پیاده شد. در فضای باز (بدون پوشش) هر یک از این نوارها، نام گونه، تعداد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در استان کهگیلویه و بویراحمد

Figure 1. Location of the study area in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province

تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (Version 22) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (2016) استفاده شد. ابتدا نرم‌ال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه برای مقایسه فراوانی زادآوری‌ها در دو تیمار پرستار و شاهد از آزمون T-student غیروابسته استفاده شد. برای تعیین همبستگی مکانی فرم‌های مختلف پرستاری با گونه‌های هدف (زادآوری‌ها) از آزمون مربع کای و جدول‌های توافقی ۲×۲ (Crosstabs) استفاده شد. در هر مورد که معنی‌داری مقدار آزمون مربع کای کمتر از ۰/۰۱ شده است، پس با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان فرض مخالف صفر را تأیید کرد؛ یعنی فرم پرستاری موجود، با گونه هدف همبستگی دارد. همچنین، برای

یکسان‌سازی مساحت

در این پژوهش مشخص شد که وسعت نواحی دارای گونه‌های پرستار در مقایسه با نواحی شاهد (فضای باز) با یکدیگر متفاوت است. بنابراین، مقایسه فراوانی زادآوری‌ها در مساحت‌های مختلف، نتیجه‌گیری درستی را به ما نشان نمی‌دهد. در نتیجه برای یکسان‌سازی فراوانی زادآوری‌ها در دو تیمار پرستار و شاهد، مساحت هر دو تیمار به هکتار تبدیل شد و به‌این ترتیب فراوانی زادآوری‌ها در هر دو تیمار پرستار و شاهد در مساحت یکسانی محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

بعد از انجام عملیات میدانی، داده‌های زادآوری وارد نرم‌افزار صفحه گسترده Excel شد. برای تجزیه و

نتایج این پژوهش نشان داد که در کل منطقه مورد پژوهش، تعداد ۱۴ گونه چوبی پرستار شناسایی شد (جدول ۱). در مجموع در مساحت شش هکتار، تعداد ۴۲۳ اصله گیاه پرستار ثبت شد که بیشترین تعداد متعلق به دو گونه خاردار ارژن و گلابی وحشی به ترتیب با ۱۹۵ و ۷۷ اصله و کمترین تعداد به گونه‌های زالزالک، گون، شیرخشت، بلوط ایرانی، رز وحشی و گیلاس وحشی به ترتیب با ۱، ۳، ۳، ۴، ۴ و ۵ اصله تعلق داشت. علاوه بر این، حضور سنگ‌های پرستار با تعداد ۷۸ عدد در منطقه مورد پژوهش قابل توجه بود. نتایج نشان داد که گونه‌های درختچه‌ای با فراوانی ۵۴ درصد بیشترین حضور را در بین فرم‌های مختلف پرستاری داشتند (جدول ۱).

محاسبه شدت همبستگی آن‌ها از ضریب فی (ψ) استفاده شد. از روش‌های آنالیز چند متغیره برای ارزیابی اثر گونه‌های پرستار بر زادآوری گونه‌های هدف استفاده گردید. به این منظور ابتدا با انجام آنالیز تطبیقی قوس‌گیری شده (DCA) طول گرادیان کمتر از سه به دست آمد. در نتیجه برای تعیین اثر گونه‌های پرستار بر زادآوری گونه‌های هدف از آنالیز RDA استفاده شد. این آنالیز با استفاده از نسخه ۴/۵ نرم افزار CANOCO انجام شد.

نتایج

شکل‌های مختلف پرستاری

جدول ۱- فرم‌های مختلف پرستاری شناسایی شده در منطقه مورد پژوهش
Table 1. Different forms of nursing identified in the study area

درصد فراوانی Frequency percentage	تعداد Number	فرم رویشی Life form	خانواده Family	نام علمی Scientific name	نام فارسی Persian name
38.9	195	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Amygdalus lycioides</i> Spach.	ارژن Wild almond
15.4	77	درختی Tree	Rosaceae	<i>Pyrus glabra</i> Boiss.	گلابی وحشی Wild pear
6.8	34	درختچه‌ای Shrub	Caprifoliaceae	<i>Lonicera nummularifolia</i> Jaub. & Spach	شن Woodbine
5.6	28	درختچه‌ای Shrub	Thymelaceae	<i>Daphne mucronata</i> Royle.	دافنه Mezereon
4	20	بوته‌ای Bush	Plumbaginaceae	<i>Acantholimon flexuosum</i> Boiss. & Hausskn.	کلاه میرحسن Prickly thrift
3.8	19	درختی Tree	Oleaceae	<i>Fraxinus rotundifolia</i> Mill.	زبان گنجشک Ash
3.8	19	درختی Tree	Aceraceae	<i>Acer cinerascens</i> Boiss.	کیکم Maple
2.2	11	درختی Tree	Anacardiaceae	<i>Pistacia atlantica</i> Desf.	بنه Mount Atlas pistache
1	5	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Prunus</i> Sp.	گیلاس وحشی Plum tree
0.8	4	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Rosa canina</i> L.	رز وحشی Dog rose

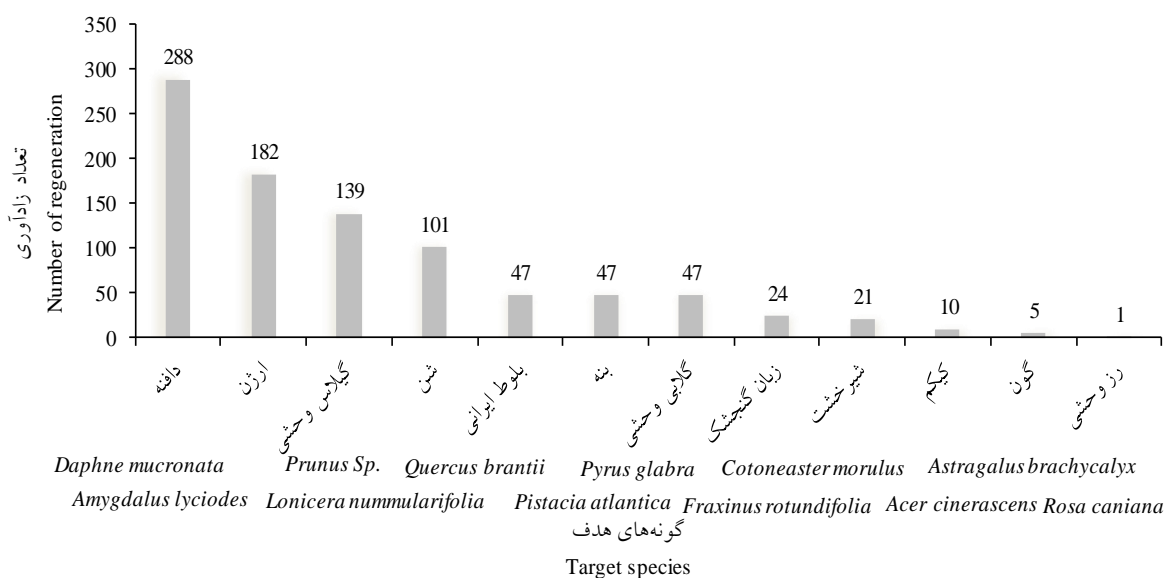
ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

درصد فراوانی Frequency percentage	تعداد Number	فرم رویشی Life form	خانواده Family	نام علمی Scientific name	نام فارسی Persian name
0.8	4	درختی Tree	Fagaceae	<i>Quercus brantii</i> lindl.	بلوط ایرانی Oak manna tree
0.6	3	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Cotoneaster morulus</i> Pojark.	شیرخشت Cotoneaster
0.6	3	بوته‌ای Bush	Papilionaceae	<i>Astragalus Spp.</i>	گون Locoweed
0.6	1	درختی Tree	Rosaceae	<i>Crataegus azarolus</i> L.	زالزالک Hawthorn
15.6	78			-	سنگ Stone

که مقدار فراوانی هر یک از گونه‌ها در شکل ۲، آورده شده است. بیشترین فراوانی زادآوری‌ها متعلق به گونه‌های دافنه، ارژن، گیلاس وحشی و شن به ترتیب با ۲۸۸، ۱۸۲، ۱۳۹ و ۱۰۱ اصله است.

فراوانی زادآوری گونه‌های هدف در دو تیمار پرستار و شاهد
تعداد زادآوری‌های گونه‌های درختی و درختچه‌ای واقع در زیر تاج‌پوشش گیاهان پرستار و سنگ‌ها شمارش شد. در مجموع ۹۱۲ اصله زادآوری ثبت شد،



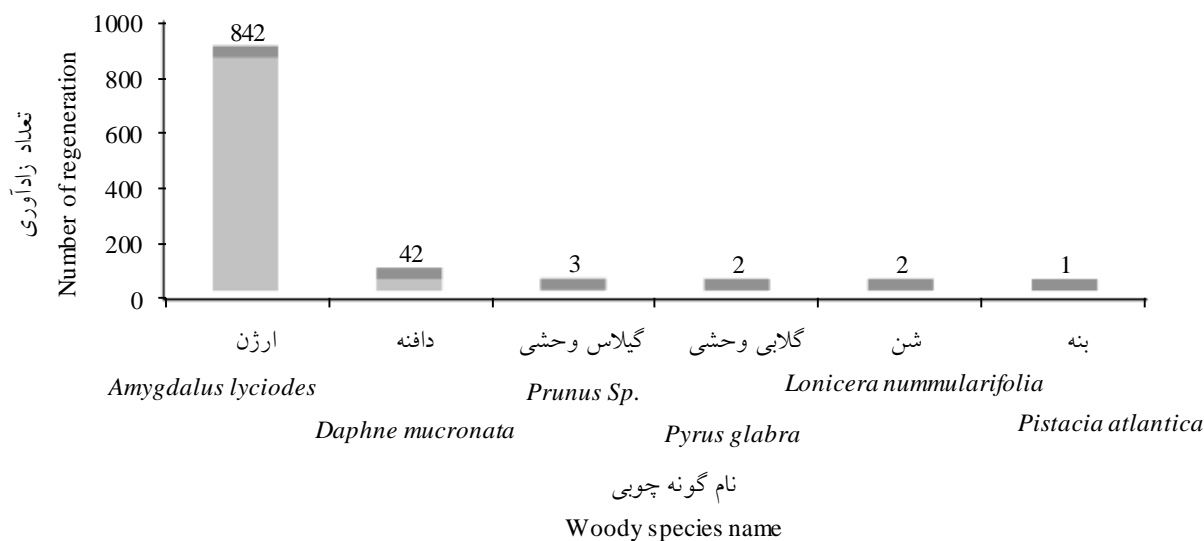
شکل ۲- فراوانی زادآوری گونه‌های هدف در زیر تاج پوشش گیاهان پرستار

Figure 2. Regeneration frequency of target species under the canopy of nurse plants

یک از گونه‌ها در شکل ۳، آمده است. در این منطقه، بیشترین درصد فراوانی زادآوری گونه‌ها را نونهال‌ها و

تعداد زادآوری‌های گونه‌های چوبی (هدف) واقع در منطقه شاهد نیز شمارش شد که مقدار فراوانی هر

نهال‌های ارژن و دافنه به ترتیب با ۸۴۲ و ۴۲ اصله شمارش شده در تیمار شاهد، متعلق به این دو گونه تشکیل داده‌اند. در واقع ۹۹ درصد از کل گونه‌های بوده است.

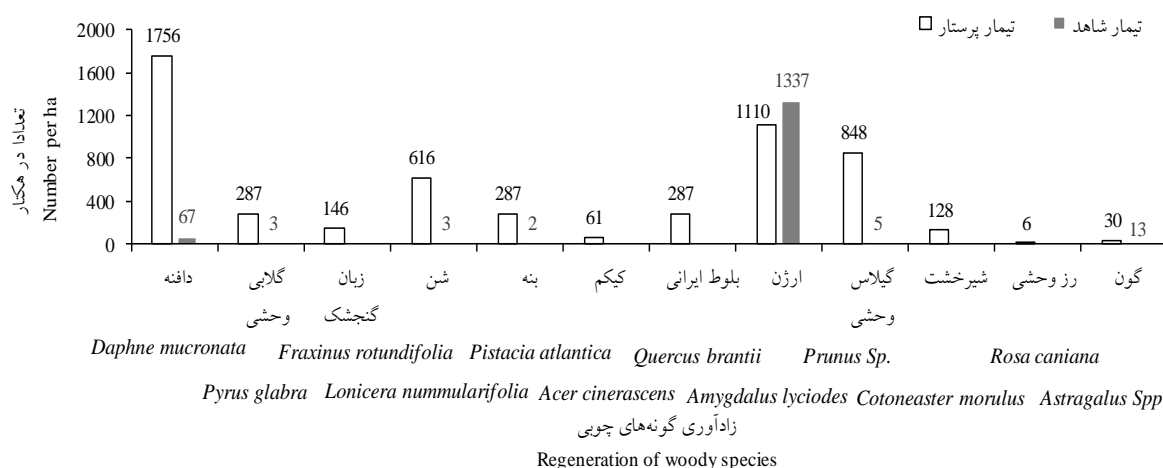


شکل ۳- فراوانی زادآوری‌های گونه‌های هدف در تیمار شاهد

Figure 3. Regeneration frequency of target plants in control treatment

شد که فراوانی زادآوری گونه‌های چوبی به استثناء گونه ارژن، در تیمار پرستار نسبت به شاهد بیشتر بود (شکل ۴).

بعد از یکسان‌سازی مساحت نواحی شاهد و پرستار، فراوانی زادآوری هر یک از گونه‌ها بر اساس واحد سطح (هکتار) تعیین شد. بر این اساس مشخص



شکل ۴- فراوانی زادآوری‌ها در تیمار پرستار و شاهد در هکتار

Figure 4. Regeneration frequency in nurse and control treatments (ha)

شاهد از این نظر با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد هستند (جدول ۲).

نتایج آزمون t مستقل فراوانی زادآوری گونه‌های چوبی (در هکتار) نشان داد که دو تیمار پرستار و

جدول ۲- نتایج آزمون t مستقل و مقایسه میانگین تعداد در هکتار زادآوری در دو تیمار پرستار و شاهد

Table 2. Results of independent T-test and comparison of mean of regeneration (number per hectare) in nurse and control treatments

معنی داری	مقدار t	شاهد	تیمار پرستار	نام متغیر
Significant	T value	Control	Nurse treatment	Variable name
0.001**	4.73	1429	5561	تعداد زادآوری (هکتار) Number of regeneration (ha)

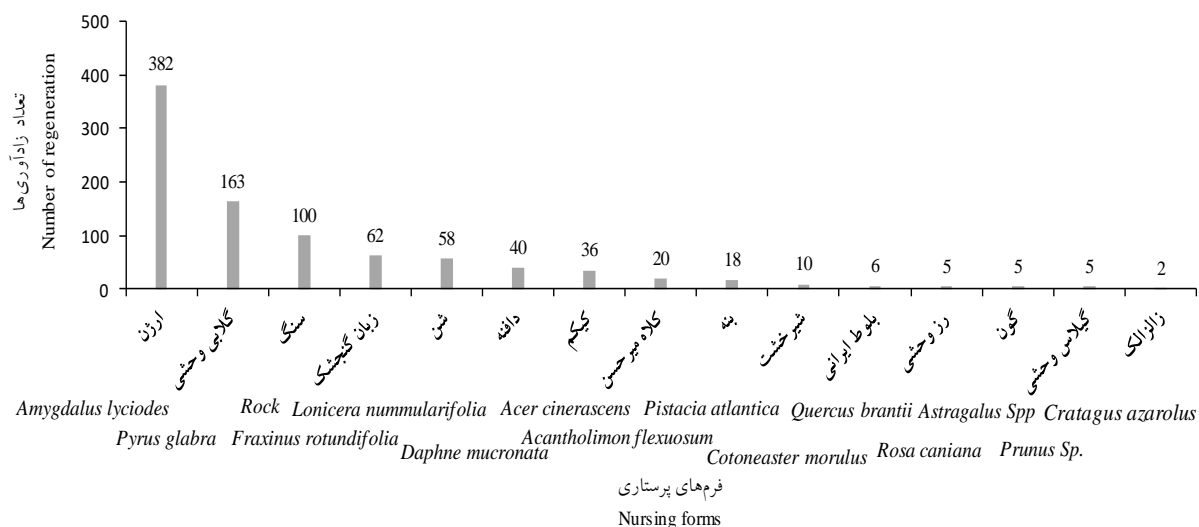
**Significant differences in 99%

** معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

زادآوری‌ها (گونه‌های هدف) را در پناه خود جای داده‌اند (شکل ۵).

همزیستی زادآوری‌ها (گونه‌های هدف) با فرم‌های مختلف پرستاری

نتایج پژوهش نشان داد که به ترتیب فرم‌های پرستار ارژن، گلابی وحشی و سنگ‌ها بیشترین فراوانی



شکل ۵- همزیستی فرم‌های مختلف پرستاری با زادآوری گونه‌های هدف

Figure 5. Coexistence of different forms of nursing with regeneration of target species

پوشش خود همبستگی مکانی از نوع جاذبه نشان داد. این درحالی است که گلابی وحشی تنها با زادآوری- های گیلاس وحشی و ارژن همبستگی مکانی مثبت داشت. دیگر گونه‌های پرستار همبستگی معنی داری را با گونه‌های هدف تحت حمایت خود نشان ندادند؛ به عبارتی، حضور آن‌ها با یکدیگر بر حسب تصادف بود.

همبستگی مکانی گونه‌های پرستار با گونه‌های هدف نتایج نشان داد فرم‌های پرستار ارژن و گلابی وحشی بیشترین فراوانی زادآوری‌ها را در پناه خود جای داده‌اند (شکل ۴). مقایسه و مقدار همبستگی بین گونه‌های پرستار و هدف نشان داد که گونه‌های پرستار ارژن و گلابی وحشی به ترتیب با ۸ و ۴ گونه تحت حمایت خود همبستگی نشان دادند و بیشترین تأثیرگذاری را بر زادآوری گونه‌های چوبی داشتند. در این میان گونه‌ی ارژن با بیشتر زادآوری‌های زیر تاج-

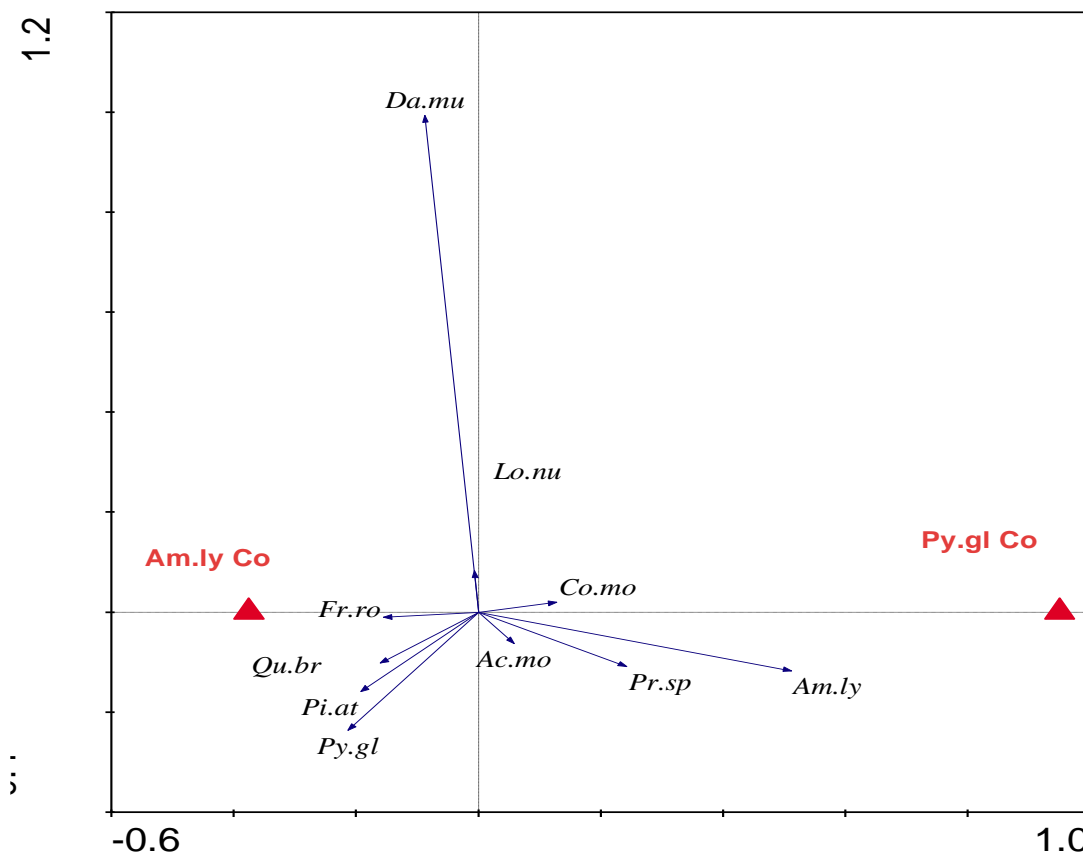
جدول ۳- همبستگی مکانی گونه‌های پرستار با گونه‌های هدف

Table 3. Spatial correlation of nurse species with target species

ضریب همبستگی فی ψ Correlation coefficient	جهت همبستگی Correlation direction	مقدار مربع کای Chi-square value	فراوانی Frequency	گونه هدف Target plant	گیاهان پرستار Nurse plants
0.21	مثبت Positive	40.97**	165	دافنه Mezereon	
0.09	مثبت Positive	6.8**	55	شن Woodbine	
0.2	مثبت Positive	36.17**	40	بلوط ایرانی Oak manna tree	
-0.12	منفی Negative	13.5**	38	گیلاس وحشی Plum tree	
0.1	مثبت Positive	8.87**	30	گلابی وحشی Wild pear	ارژن Wild almond
0.09	مثبت Positive	87.16**	29	بنه Mount Atlas pistache	
0.12	مثبت Positive	12.5**	19	زبان گنجشک Ash	
*	عدم همبستگی No correlation	0	2	گون Locoweed	
*	عدم همبستگی No correlation	1.18	2	کیکم Maple	
-0.11	منفی Negative	10.57**	1	شیرخشت Cotoneaster	
×	عدم همبستگی No correlation	0.02	50	دافنه Mezereon	
0.09	مثبت Positive	7.87**	46	ارژن Wild almond	
0.08	مثبت Positive	6.56**	36	گیلاس وحشی Plum tree	
×	عدم همبستگی No correlation	0.9	22	شن Woodbine	
×	عدم همبستگی No correlation	0	4	شیرخشت Cotoneaster	گلابی وحشی Wild pear
×	عدم همبستگی No correlation	0	2	کیکم Maple	
-0.09	منفی Negative	7.27**	1	بنه Mount Atlas	
×	عدم همبستگی No correlation	2.26	1	زبان گنجشک Ash	
-0.09	منفی Negative	7.27**	1	بلوط ایرانی Oak manna tree	

مانند دافنه، شن، بلوط ایرانی، گلابی وحشی، بنه و زبان گنجشک در فضای دو بعدی این آنالیز تحت تأثیر گونه‌های پرستار ارژن و گلابی وحشی قرار گرفتند (شکل ۶).

نتایج آنالیز افزونگی (RDA) نیز نشان داد گونه‌های پرستار ارژن و گلابی وحشی روی زادآوری گونه‌های هدف اثر معنی‌دار داشتند ($F= ۸/۳$ و $P=۰/۰۰۱$). به طوری که زادآوری گونه‌های هدف



شکل ۶- پاسخ زادآوری گونه‌های هدف در آنالیز چندمتغیره (RDA) به گیاهان پرستار ارژن و گلابی وحشی در منطقه مورد پژوهش. گیاهان پرستار (ارژن و گلابی وحشی) با مثلث نشان داده شده است. نام گونه‌های هدف دو حرف اول نام علمی جنس و دو حرف اول نام گونه است (جدول ۱).

Figure 6. Regeneration response of target species in multivariate analysis (RDA) to *A.lycioides* and *P.glabra* nursing plants in the study area. Nurse plants (*A.lycioides* and *P.glabra*) are shown with a triangle. The names of the target species are the first two letters of the scientific name of the genus and the first two letters of the name of the species (table 1).

بوت‌های به ترتیب با فراوانی ۵۴ درصد، ۲۶ درصد و ۴ درصد بیشترین حضور را در بین فرم‌های مختلف پرستاری داشتند. در بین گونه‌های درختچه‌ای و پرستار گونه‌های ارژن و گلابی وحشی به ترتیب با ۳۸/۹۹ و ۱۵/۴ درصد بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص دادند و گونه‌های شن و دافنه به ترتیب

بحث در توالی جنگل، حضور درختچه‌ها به عنوان گونه‌های پیشگام، شرایط بوم‌شناختی رویشگاه‌های جنگلی را بهتر کرده و به استقرار، پایداری و پویایی زادآوری درختان جنگلی کمک می‌کنند (Yang et al., 2017). در این پژوهش گونه‌های درختچه‌ای، درختی و

های مختلف درختی و درختچه‌ای به‌استثناء گونه‌های ارژن، در زیرآشکوب گونه‌های پرستار نسبت به فضای باز به‌مقدار قابل توجهی بالاتر بود. این مطلب گویای این است که به‌دلیل چرای شدید دام و دیگر عوامل تخریب (محیطی، انسانی و غیره) در این منطقه، زادآوری گونه‌های درختی و درختچه‌ای به‌ویژه گونه‌های بدون خار مانند بنه، بلوط ایرانی، زبان‌گنجشک، کیکم و شیرخشت به حضور گونه‌های پرستار وابسته‌اند. در واقع گیاهان پرستار با مقاومت در برابر چرای دام، داشتن شبکه گسترده و مقاوم ریشه، جست‌دهی فراوان و توسعه تاج‌پوشش، سبب حفظ و تثبیت خاک و حمایت از نهالها می‌شوند و شرایط را برای حضور گونه‌های دیگر فراهم می‌آورند. در همین زمینه، پژوهش‌ها نشان داد که حتی گونه‌های نورپسندی مانند بلوط و بنه برای استقرار نهال در سال‌های ابتدایی رشد به شرایط نیم‌سایه نیاز دارند و استقرار آن‌ها در فضای باز و خارج از تاج‌پوشش در مناطق نیمه‌خشک مانند زاگرس به‌ندرت انجام می‌شود (Hosseini and Azami, 2017; Hosseini, 2010). با وجودی که انتظار می‌رفت گونه‌هایی مانند زبان‌گنجشک و کیکم با توجه به داشتن بذر سبک و بالدار (سامار) که جزو گونه‌های پیشگام در مرحله توالی هستند، در عرصه‌های باز و بدون درخت به‌سرعت استقرار یابند، اما مشاهده شد که به‌دلیل مشکلاتی مانند چرای بی‌رویه دام، خاک کم‌عمق و فشرده و غیره در این مناطق توانایی استقرار را ندارند و برای استقرار به گیاهان پرستار نیازمند هستند. همچنین، فراوانی قابل توجه زادآوری‌های گونه‌های درختچه‌ای (گونه‌های هدف) نسبت به گونه‌های درختی در هر دو تیمار پرستار و شاهد به این دلیل است که گونه‌های درختچه‌ای (به‌خصوص ارژن و دافنه)، گونه‌های مادری غالب در این منطقه را شامل می‌شوند. همچنین

با ۶/۸ و ۵/۶ در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. گونه‌های دیگر موجود از قبیل بلوط ایرانی، زبان‌گنجشک، کیکم، بنه، شیرخشت، گیل‌س وحشی، زالزالک، رز وحشی و گونه‌های بوته‌ای شامل گون و کلاه میرحسن، در مجموع حدود ۳۰ درصد از کل گونه‌های پرستار را شامل بودند. مطابق با نتایج این پژوهش، در یک پژوهش مروری توسط Filazzola and Lortie (2014) و با بررسی ۲۹۸ سابقه پژوهش در ارتباط با گیاهان پرستار، آن‌ها را بر اساس ناحیه جغرافیایی، مکانیزم تسهیل، فرضیه اکولوژیکی و شکل زیستی طبقه‌بندی کردند. در مجموع از میان ۹ فرم مختلف پرستاری، گیاهان درختچه‌ای در ۴۶ درصد از کل پژوهش‌های انجام شده، به‌عنوان فرم پرستاری غالب معرفی شدند. این پژوهش‌ها بیانگر اثر تسهیلی مثبت گیاهان پرستار بر زادآوری گونه‌های هدف در مناطق با استرس‌های غیرزیستی فراوان بود. در واقع گیاهان پرستار گونه‌هایی هستند که از طریق مکانیزم‌های مختلف به دیگر گیاهان سود می‌رسانند (Brooker et al., 2008) و به‌طور معمول شامل گیاهان چندساله مانند درختچه‌ها، درختان و گیاهان بوته‌ای هستند.

طبق نتایج پژوهش در منطقه مورد پژوهش به مساحت حدود شش هکتار تعداد ۹۱۲ گونه هدف (زادآوری) در پناه گونه‌های پرستار ثبت شد. بیشترین زادآوری در تیمار پرستار به گونه‌های دافنه، ارژن، گیل‌س وحشی و شن به‌ترتیب با ۲۸۸، ۱۸۲، ۱۳۹ و ۱۰۱ اصله تعلق داشت. این درحالی است که زادآوری گونه‌های بلوط ایرانی، بنه، گلابی وحشی و زبان‌گنجشک در زیرآشکوب گونه‌های پرستار نیز به‌مقدار قابل توجه مشاهده شدند. اما در فضای باز به‌غیر از زادآوری گونه‌های ارژن و دافنه به‌ترتیب با فراوانی ۹۴ و ۵ درصد، زادآوری دیگر گونه‌ها به‌ندرت مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد فراوانی زادآوری گونه-

مقایسه با گیاهانی که در فضای باز رشد کرده بودند، بیشتر بود (Molina-Montenegro et al., 2020).

از دیگر مباحث مورد بررسی در این پژوهش بررسی روابط همبستگی جفت گونه‌ای است. از الگوی مکانی همبستگی بین گیاهان می‌توان برای تعیین مناسب‌ترین گونه‌های پرستار و هدف استفاده کرد (Arroyo et al., 2003). به‌طور کلی نوع برهم کنش بین گیاهان بر ساختار مکانی جوامع گیاهی تأثیر گذار است، به‌طوری که اگر نتیجه برهم کنش تسهیل باشد همبستگی بین گیاهان مثبت ولی اگر در برهم کنش رقابت غالب باشد همبستگی بین آن‌ها منفی است (Callaway et al., 2002). گونه‌های پرستار شناسایی شده در این پژوهش همبستگی متفاوتی را با گونه‌های هدف در زیراشکوب نشان دادند. گونه پرستار ارژن با شش گونه هدف تحت حمایت خود همبستگی مکانی مثبت نشان داد. زیرا تاج‌پوشش مترکم، شاخه‌زاد و خاردار بودن گونه ارژن از طرفی سبب حفظ رطوبت خاک (اثر تسهیل) می‌شود و از طرف دیگر سبب نفوذ نور کمتر به زیراشکوب و بروز اثر منفی (رقابت برای نور) برای استقرار اولیه نهال‌ها و همچنین جلوگیری از چرای دام می‌شود. بررسی‌های پژوهشگران دیگر نیز نشان داد که اثر تسهیل بوته‌ها و درختچه‌ها به عواملی از قبیل اندازه تاج‌پوشش و ساختار مورفولوژیکی تاج پوشش بستگی دارد (Gomez-Aparacio et al., 2004).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این پژوهش به‌طور کلی نشان داد که در مناطق تخریب‌یافته زاگرس، در برنامه‌های جنگلکاری و احیاء جنگل می‌توان از گونه‌هایی مانند ارژن، گل‌ابی وحشی و دافنه به‌عنوان گونه‌های پیش‌آهنگ در مناطق بدون پوشش و یا با تاج پوشش کم استفاده کرد و پس از گذشت چندین سال اقدام به کاشت

دلیل دیگر آن می‌تواند به‌خاطر عدم چرای دام از این گونه‌ها به‌دلیل خارداربودن و غیرخوشخوراکی باشد. در پژوهشی مشابه با این پژوهش Hosseini and Azami (2017) به این نکته دست یافتند که با توجه به استقرار قابل توجه زادآوری در زیر و پناه درختچه‌ها و بوته‌ها، می‌توان به نقش مؤثر آن‌ها در حمایت و رشد نهال‌ها پی برد. همچنین در پژوهش Fodor et al. (2018) در مراتع مشجر غرب و شمال غرب رومانی مشخص شد که درختچه‌های خاردار و پرستار مانند (*Rosa canina*, *Crataegus monogyna*, *Prunus spinose*) می‌توانند به‌عنوان پرستار، نهال‌های بلوط (*Quercus spp.*) را در مقابل چرای دام محافظت کنند. در پژوهش انجام‌شده در درخت-زارهای جنوبی البرز نیز گزارش شد که گونه‌های خاردار زرشک و نسترن با قدرت جست‌دهی زیاد به‌عنوان گونه‌های پیشرو و پرستار ایفای نقش می‌کنند (Ravanbakhsh et al., 2010).

پس از یکسان‌سازی مساحت تیمارهای پرستار و شاهد مشخص شد که فراوانی زادآوری‌ها در تیمار پرستار به‌طور چشم‌گیری بیشتر از تیمار شاهد (فضای باز) است. مطابق با نتایج پژوهش، Torroba-Balmori et al. (2015) به‌منظور بازسازی جنگل‌های بلوط با استفاده از درختچه‌های بومی به‌عنوان گیاهان پرستار در معادن شمال اسپانیا دریافتند که پس از اولین دوره خشکی تابستانه، بقای نونهال‌ها در پناه گونه‌های پرستار نسبت به فضاهای باز اطراف آن‌ها ۷۰ درصد افزایش داشته است. در پژوهش مشابه دیگری نیز اثرهای پرستاری گونه درختچه‌ای (*Porlieria chilensis*) بر استقرار بوته (*Flourensia thurifera*) در پارک Fray Jorge شیلی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده، استقرار و رشد *F. thurifera* در زیر تاج‌پوشش *P. chilensis* در

چون بنه، زبان گنجشک، گلایی وحشی، کیکم، بلوط ایرانی، شن و شیرخشت که به شدت نیازمند پرستار و حفاظ هستند کرد.

گونه‌هایی مانند بلوط، بنه، و دیگر گونه‌ها در اطراف آن‌ها اقدام کرد. همچنین در مناطقی که گونه‌های پرستار حضور دارند و دارای تاج پوشش مناسب هستند می‌توان اقدام به کاشت بذر یا نهال گونه‌هایی

References

- Acharya, R.; Shrestha, B. B., Vegetation structure, natural regeneration and management of Parroha community forest in Rupandehi district, Nepal. *Scientific World* **2011**, 9 (9), 70-81.
- Arroyo, M.; Cavieres, L.; Peñaloza, A.; Arroyo-Kalin, M., Positive associations between the cushion plant *Azorella monantha* (Apiaceae) and alpine plant species in the Chilean Patagonian Andes. *Plant Ecology* **2003**, 169 (1), 121-129.
- Blanco-García, A.; Sáenz-Romero, C.; Martorell, C.; Alvarado-Sosa, P.; Lindig-Cisneros, R., Nurse-plant and mulching effects on three conifer species in a Mexican temperate forest. *Ecological Engineering* **2011**, 37 (6), 994-998.
- Brooker, R. W.; Maestre, F. T.; Callaway, R. M.; Lortie, C. L.; Cavieres, L. A.; Kunstler, G.; Liancourt, P.; Tielbörger, K.; Travis, J. M.; Anthelme, F., Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *Journal of ecology* **2008**, 18-34.
- Bruno, J. F.; Stachowicz, J. J.; Bertness, M. D., Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in ecology & evolution* **2003**, 18 (3), 119-125.
- Callaway, R. M., Positive interactions among plants. *The Botanical Review* **1995**, 61 (4), 306-349.
- Callaway, R. M.; Brooker, R. W.; Choler, P.; Kikvidze, Z.; Lortie, C. J.; Michalet, R.; Paolini, L.; Pugnaire, F. I.; Newingham, B.; Aschehoug, E. T., Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* **2002**, 417 (6891), 844-848.
- Damizadeh, G.; Sagheb-Talebi, K.; Damizadeh, M., Impact of canopy of Tooth Brush tree (*Salvadora persica*) as a nurse plant on primary establishment of forest trees and shrubs. *Iranian Journal of Forest* **2009**, 1 (1), 11-23.
- Darabi, H.; Gholami, SH.; Sayad, A., Spatial variability of regeneration and diversity of tree species in Zagros Forests, Case Study: Gahvareh Forests, Kermanshah province, *Iranian Journal of Applied Ecology* **2017**, 5 (18), 45-59. (In Persian)
- Filazzola, A.; Lortie, C. J., A systematic review and conceptual framework for the mechanistic pathways of nurse plants. *Global Ecology and Biogeography* **2014**, 23 (12), 1335-1345.
- Flores, J.; Jurado, E., Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* **2003**, 14 (6), 911-916.
- Fodor, E.; Haruta, O.; Dorog, S., Nurse plants and the regeneration niche of tree seedlings in wood-pastures from Western and North-Western Romania. *Reforesta* **2018**, 6, 41-59.
- Gómez-Aparicio, L.; Zamora, R.; Gómez, J. M.; Hódar, J. A.; Castro, J.; Baraza, E., Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological applications* **2004**, 14 (4), 1128-1138.
- Hoseini, A., Effect of canopy density on natural regeneration in Manesht oak forests of Ilam. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010**, 18 (2), 219-229. (In Persian)
- Hosseini, A.; Aazami, A., Determining the Natural Establishment Pattern of *Quercus Persica* Generative Regeneration in Different Site Conditions to Restore Zagros Forests. *Geography and environmental sustainability* **2018**, 7 (4), 53-63.
- Lortie, C. J.; Brooker, R. W.; Choler, P.; Kikvidze, Z.; Michalet, R.; Pugnaire, F. I.; Callaway, R. M., Rethinking plant community theory. *Oikos* **2004**, 107 (2), 433-438.
- Mahmoudi, M.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei A.; Zargharan, M.R.; Mansouri, A., Effects of preservation plan on quantitative and qualitative characteristics of the mature stand, regeneration and extension of *Loranthus europaeus* in Salas-e Babajani County. *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7 (2), 183-197. (In Persian)
- Modaberi, A.; Mirzaei, J., Study of decline effect on structure of central Zagros forests. *Journal of Forest Research and*

- Development* **2017**, 2 (4), 325-336. (In Persian)
- Molina-Montenegro, M. A.; Baldelomar, M.; Atala, C.; Torres-Díaz, C., A tradeoff between fitness-related traits mask facilitation in a semiarid ecosystem. *Oikos* **2020**, 129 (8), 1196-1203.
- Muhamed, H.; Maalouf, J.-P.; Michalet, R., Summer drought and canopy opening increase the strength of the oak seedlings–shrub spatial association. *Annals of forest science* **2013**, 70 (4), 345-355.
- Niering, W.; Whittaker, R.; Lowe, C., The Saguaro: A Population in Relation to Environment: Reproduction and survival are more affected by man's intrusion than by environmental extremes. *Science* **1963**, 142 (3588), 15-23.
- Ravanbakhsh, H.; Marvie Mohajer, M.R.; Etemad, V., Natural regeneration of woody species in woodlands of southern slopes of Elborz mountains (case study: Latian watershed). *Iranian Journal of Forest* **2010**, 2 (2), 113-125. (In Persian)
- Rice, E., Allelopathy 2nd (Ed) Academic Press Inc. *Orlando, Florida, USA* **1984**, 424.
- Rodríguez-García, E.; Bravo, F.; Spies, T. A., Effects of overstorey canopy, plant–plant interactions and soil properties on Mediterranean maritime pine seedling dynamics. *Forest Ecology and Management* **2011**, 262 (2), 244-251.
- Tofts, R.; Silvertown, J., Community assembly from the local species pool: an experimental study using congeneric species pairs. *Journal of Ecology* **2002**, 90 (2), 385-393.
- Torroba-Balmori, P.; Zaldívar, P.; Alday, J. G.; Fernández-Santos, B.; Martínez-Ruiz, C., Recovering Quercus species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. *Ecological engineering* **2015**, 77, 146-153.
- Vacek, S.; Nosková, I.; Bílek, L.; Vacek, Z.; Schwarz, O., Regeneration of forest stands on permanent research plots in the Krkonoše Mts. *Journal of Forest Science* **2010**, 56 (11), 541-554.
- Vandenbergh, C.; Smit, C.; Pohl, M.; Buttler, A.; Freléchoux, F., Does the strength of facilitation by nurse shrubs depend on grazing resistance of tree saplings? *Basic and Applied Ecology* **2009**, 10 (5), 427-436.
- Yang, B.; Li, Y.; Ding, B.; Both, S.; Erfmeier, A.; Härdtle, W.; Ma, K.; Schmid, B.; Scholten, T.; Seidler, G., Impact of tree diversity and environmental conditions on the survival of shrub species in a forest biodiversity experiment in subtropical China. *Journal of Plant Ecology* **2017**, 10 (1), 179-189.

The importance of nurse species in establishing of natural regeneration in forests of South Zagros (Vezg forest, Yasouj)

M. A. Sadat¹, S. Alvaninezhad^{*2}, A. Salehi³, Y. Askari⁴ and P. Gholami⁵

1- M.Sc. of Forestry, Department of Forestry, Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, I. R. Iran. (amin.sadat90@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Forestry, Range and Watershed Management, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, I. R. Iran. (salvaninejad@yu.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Range and Watershed Management, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, I. R. Iran. (asalehi@yu.ac.ir)

4- Assistant Professor of Forest Research Department, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Yasouj, I. R. Iran. (yousefaskari@gmail.com)

5- PhD of Rangeland Sciences, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I. R. Iran. (gholami.parviz@gmail.com)

Received: 19.06.2021 Accepted: 24.11.2021

Abstract

In this research, the effect of different forms of nursing on establishment of natural regeneration in the forests of Vezg region in Boyer-Ahmad basin was investigated. For this purpose, an area of six hectares was selected and the type of nurse species and forms, the type of target species (regeneration) were measured. Overall, 14 woody species of nurse plants with a total of 423 individuals were recorded in the research area, among them, two thorny species include *Amygdalus lycioides* and *Pyrus glabra* with 195 and 77, respectively, have the highest number. Also, out of 912 regeneration individuals (target species) under the canopy of nurse plants and rocks, the highest number belonged to *Daphne mucronata*, *Amygdalus lycioides*, *Prunus sp* and *Lonicera nummulariifolia*. RDA analysis also showed that the regeneration of target species is affected by *A.lycioides* and *P.glabra* nursing plants. The results of this study showed that the regeneration of woody species in this area, with the exception of *A. lycioides*, depends on conservation and nursing. This indicates the role of nurse species in establishing regeneration in semi-arid forests of Zagros, which can be used as a model in forest restoration programs in other parts of the Zagros forests.

Keywords: Forest Regeneration, Southern Zagros, Thorny woody species, Target plants.

* Corresponding author

Tel: +989177286689

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل‌های هیرکانی

فاطمه بخشی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، علی اصغر واحدی^۳ و مجتبی ایمانی راستابی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (Faterebakhshi19.9@gmail.com)
- ۲- استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (Fallaha2007@yahoo.com)
- ۳- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (ali.vahedi60@gmail.com)
- ۴- استادیار، پژوهش بخش تحقیقات جنگل، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. (yousefaskari@gmail.com)
- ۵- دکتری، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (m_imani_m@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز درختان بادافتاده ممرز در جهت طولی (در راستای طول تنه درخت) و جهت شعاعی (از مغز به پوست) چوب تنه انجام شد. از این رو از ۱۰ درخت بادافتاده ممرز در طبقات قطری ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ و درجه پوسیدگی مختلف (درجه ۱، ۲ و ۳) دیسک کامل تهیه شد. دیسک‌ها در فواصل ۵، ۳۵ و ۶۵ درصد از طول تنه تهیه شدند. قطعات نمونه با حجم ثابت ۲×۲×۲ سانتی‌متر مکعب به نسبت ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از شعاعی دیسک‌ها تکه‌برداری شده و جرم حجمی پایه و رطوبت سبز آن‌ها به دست آمد. نتایج نشان داد که رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز در طبقات قطری مختلف با احتساب درجات پوسیدگی تفاوت معنی‌دار دارد. بیشترین میانگین مقادیر جرم حجمی پایه در فاصله ۵ درصد در راستای طولی و ۹۰ درصد در راستای شعاعی چوب تنه به ترتیب با ۰/۵۹ و ۰/۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب و بیشترین میانگین مقادیر رطوبت سبز در ۹۰ درصد در راستای شعاعی به مقدار ۰/۶۵ و فاصله ۵ درصد در راستای طولی به مقدار ۰/۶۶ مشاهده شد. نتایج همبستگی نشان داد جرم حجمی پایه، بیشترین مقدار همبستگی معنی‌داری را با قطر برابر سینه و کمترین مقدار همبستگی معنی‌داری را با رطوبت سبز دارد.

واژه‌های کلیدی: جرم حجمی پایه، درجه پوسیدگی، رطوبت سبز، زی توده، طبقات قطری.

مقدمه

ضریب شکل تنه دارای تفاوت معنی دار است (Navar, 2009). البته توجه به درجه پوسیدگی در تعیین زی توده درختان و بررسی اثر آن بر جرم حجمی درختان دارای اهمیت است. نرخ پوسیدگی برای درختان ممرز به مقدار ۰/۱۸۲ ثبت شده است (Alidadi, 2014). در پژوهش‌های مختلف مشخص شده است که جرم حجمی چوب راش در سال‌های مختلف تحت تأثیر معنی دار پوسیدگی تنه قرار می‌گیرد و رابطه معکوس بین درجه پوسیدگی و جرم حجمی چوب راش وجود دارد (Sefidi, 2016; Alidadi, 2014). الگوی خاصی برای تغییرات جرم حجمی تنه و کنده درخت در طول فرآیند پوسیدگی وجود دارد به این صورت که دامنه از دست دادن جرم حجمی با افزایش درجه پوسیدگی کاهش می‌یابد (Tobin et al., 2006). به‌طور کلی نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داد است که جرم حجمی چوب با افزایش درجات پوسیدگی کاهش می‌یابد (Tobin, 2006).

دقیق‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقادیر مختلف موجودی کربن در زی توده گیاهی، قطع و توزین است که این روش بسیار هزینه‌بردار، محدود به مقیاس خیلی کوچک و در ایران در حال حاضر به دلیل طرح تنفس قابل اجرا نیست. با توجه به این موضوع و به دلیل عدم قطع و اندازه‌گیری درختان سرپا روش‌های نیمه تخریبی و با دقت زیاد بهترین و ساده‌ترین جایگزین محسوب می‌شود. در پژوهش‌های مختلف استفاده از خشکه‌دار برای اندازه‌گیری مقادیر زی توده و موجودی کربن استفاده شده است (Sefidi, 2016; Alidadi, 2014; Tobin, 2006). این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات جرم حجمی پایه چوب در قسمت شعاعی و طولی تنه درختان افتاده ممرز انجام شد. استفاده از درختان افتاده با در نظر گرفتن درجه پوسیدگی آن‌ها می‌تواند برآورد دقیقی از زی توده را

یکی از رایج‌ترین روش‌های محاسبه زی توده و موجودی کربن درختان، استفاده از رابطه حجم تنه، ضریب کربن و جرم حجمی چوب است (Vahedi and Mattagi, 2014). جرم حجمی چوب درختان یکی از مهم‌ترین متغیرها برای بررسی مقادیر تولید زی توده، موجودی کربن و ترسیب کربن محسوب می‌شود (Henry et al., 2010). مقادیر جرم حجمی بین اجزای مختلف درخت مانند ریشه، ساقه و شاخه‌ها دارای تفاوت است (Henry et al., 2010). به دلیل این‌که تنه بیش از ۸۰ درصد زی توده درخت را دارد (Vahedi, 2014) با محاسبه جرم حجمی تنه می‌توان زی توده درخت را تخمین زد. البته در اغلب پژوهش‌ها، موجودی کربن و یا ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی از طریق مشخصه‌های خاک اندازه‌گیری شده است (vatani et al., 2021; Parsapour et al., 2021; Zarafshar et al., 2021).

جرم حجمی چوب در راستای شعاعی و طولی تنه طی سال‌های رویش متغیر است (Henry et al., 2010). درختان تندرشد در مقایسه با درختان کند رشد دارای جرم حجمی چوب کمتری هستند (Pretzsch et al., 2018). در پژوهشی اشاره شده است که به ازای دو تا پنج متر از طول تنه درختان بلوط بلندمازو تغییرات شعاعی جرم حجمی مشاهده شد، اما در راستای طولی تفاوتی وجود نداشت (Vahedi and Mattagi, 2014). در پژوهش دیگری نتیجه گرفته شد که جرم حجمی چوب درخت *Gmelina arborea* در راستای تغییرات طولی از محل کنده تا نصف ارتفاع کل دارای روند کاهشی است و به سمت انتهای تنه روند افزایشی دارد (Espinoza, 2004). همچنین بیان شد که جرم حجمی چوب در راستای طولی تنه با توجه به شکل درخت در قالب

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل‌های هیرکانی

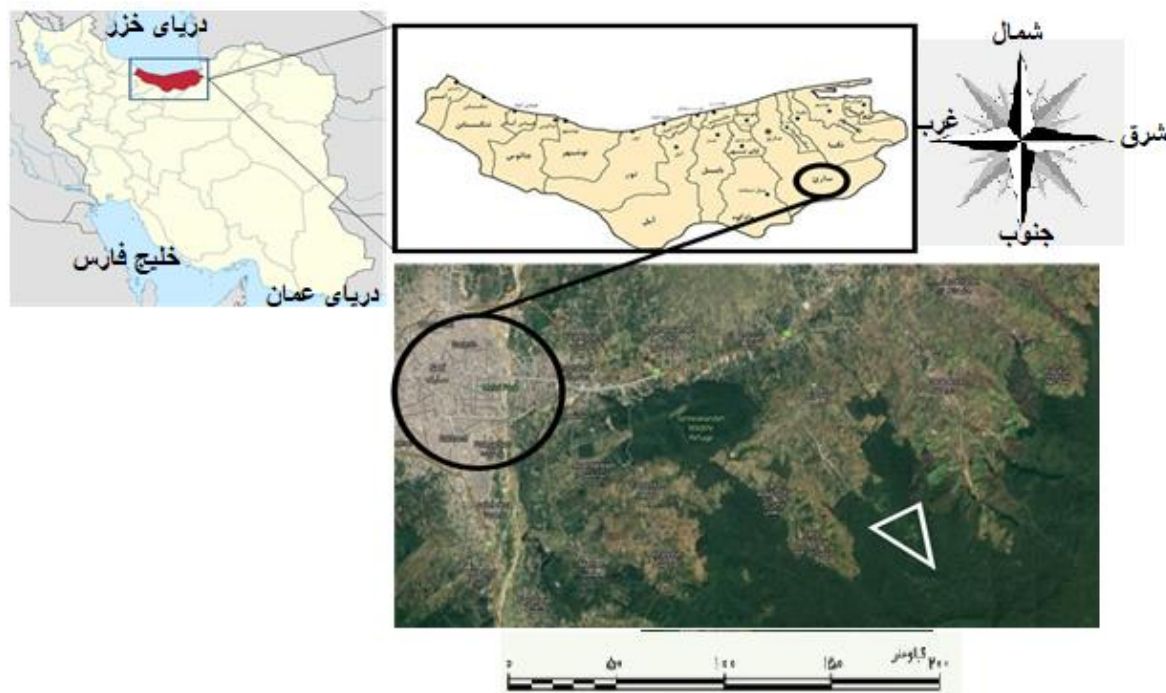
بوده و در روزهای گرم ماه‌های تیر و مرداد بیشینه مطلق درجه حرارت به ۲۸ درجه سانتی‌گراد و در روزهای سرد ماه‌های دی و بهمن به صفر تا ۳ درجه سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسد. به‌طور کلی میانگین بارندگی به‌میزان ۷۵۰-۷۰۰ میلی‌متر در سال برآورد شده که گاهی ریزش در ارتفاعات به‌صورت برف دیده می‌شود. منطقه دارای سنگ‌های مادر آهکی، مارنی همراه با ماسه سنگ آهکی است و بررسی زمین‌شناسی نیز حکایت از گسترش مارن‌ها به‌عنوان سنگ غالب منطقه دارد. همچنین نوع بافت خاک آن اغلب کمی سنگین (رسی- لومی) تا سنگین (سیلتی- رسی) است.

فراهم کند که اطلاعات به‌دست‌آمده برای مدیریت و حفاظت جنگل‌ها می‌تواند کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این بررسی در سری یک جنگل آموزشی- پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در دارابکلا از توابع شهرستان ساری در حوزه آبخیز ۷۴ جنگل‌های شمال ایران انجام شده است. این سری بین طول جغرافیایی $36^{\circ} 28'$ الی $36^{\circ} 33'$ و عرض جغرافیایی $52^{\circ} 31'$ الی $52^{\circ} 33'$ واقع شده و مساحت آن ۲۶۱۲ هکتار است. دامنه ارتفاعی آن ۱۸۰-۸۷۴ متر از سطح دریا است. جهت عمومی منطقه، شمالی و شمال غربی است. درجه حرارت در فصول مختلف سال متغیر



شکل ۱- نمای کلی از منطقه مورد بررسی

Figure 1. Overview of the study area

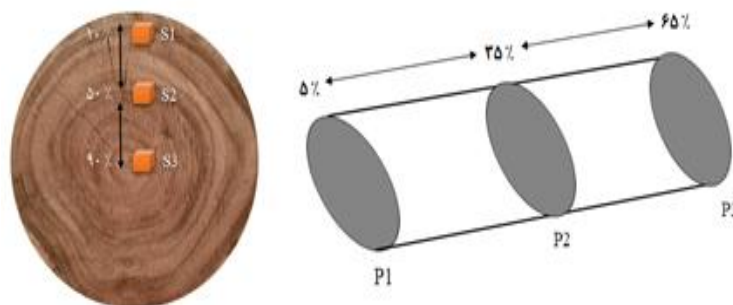
۲ و ۳ (Kimberley et al., 2019) در دامنه قطری ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متر انتخاب شدند. تمام ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان اعم از طول و

روش پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها

برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در سطح جنگل ۱۰ درخت افتاده ممرز از کلاسه پوسیدگی با درجه ۱،

مربوط به قطر برابرسینه گونه مورد بررسی است (Machado et al., 2014). سپس برای بررسی جرم حجمی پایه چوب در جهت شعاعی از هر دیسک به ازای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از طول شعاع در جهت شعاعی از مغز چوب به سمت پوست (شکل ۲) تکه برداری شد (Machado et al., 2014). نمونه‌های تکه برداری شده دارای ابعاد مشخص با حجم $2 \times 2 \times 2$ سانتی متر مکعب است (واحدی و متاجی، ۱۳۹۲؛ واحدی، ۱۳۹۳). پس از تهیه نمونه‌ها با کمک ترازو دیجیتال وزن اولیه آن‌ها توزین و کلیه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن در دمای 105°C درجه سانتی‌گراد خشک و مجدد توزین شدند (Henry et al., 2010). قابل ذکر است که نمونه‌ها به نزدیک‌ترین چوب‌بری در فاصله ۱۰ کیلومتری جنگل منتقل و به ابعاد مشخص تهیه شدند و وزن تر آن‌ها در کوتاه‌ترین زمان اندازه‌گیری شد.

قطر برابرسینه آن‌ها برای برآورد دقیق حجم اندازه‌گیری شد. قابل ذکر است که در این پژوهش درختان افتاده از یک گرادیان ارتفاعی انتخاب شده تا اثر شرایط محیطی و رویشگاهی بر صفات مورد بررسی خنثی شود. پس از اندازه‌گیری شاخص‌های ذکر شده برای برآورد دقیق جرم حجمی پایه چوب، تنه را در راستای طولی و شعاعی مورد بررسی قرار دادیم. برای بررسی جرم حجمی پایه چوب در جهت طولی در راستای طول تنه، دیسک‌هایی با ابعاد ثابت به ضخامت دو سانتی‌متر (واحدی و متاجی، ۱۳۹۲؛ Henry et al., 2010) توسط اره موتوری برداشت شد. دیسک‌های مذکور به ازای ۵، ۳۵ و ۶۵ درصد از طول تنه (شکل ۲) برداشت شد (Machado et al., 2014). قابل ذکر است که دیسک‌های مربوط به ۵ درصد از طول تنه، به‌طور قراردادی معادل قطر برابرسینه درختان است در نتیجه دیسک‌های قسمت اولیه تنه



شکل ۲- محل تهیه دیسک و نمونه در راستای طولی و شعاعی چوب

Figure 2 - The location of the disk and the vertical and radial samples of wood

هنوز شاخه و برگ‌های سبز بر روی تاج درخت قابل مشاهده است، (۲): در این نوع پوسیدگی درون چوب مشخص است، در بیشتر موارد پوست درخت نیز موجود است و شاخه و برگ‌های سبز بر روی تاج باقی نمانده است، (۳): تمام یا قسمتی از درون چوب وجود دارد، پوست درخت پوسیده شده است و سرشاخه‌ها کنده شده‌اند، (۴): پوست درخت و

رطوبت سبز هر یک از نمونه‌ها از نسبت تفاوت وزن تر و وزن خشک به وزن خشک (Henry et al., 2010) به دست آمد. همچنین جرم حجمی هر یک از نمونه‌ها از نسبت وزن خشک به حجم تر محاسبه شد (Henry et al., 2010). برای تعیین درجه پوسیدگی از روش (Kimberley et al., 2019) با کلاس‌های (۱): درخت تازه افتاده، پوست و چوب درخت سالم است،

اثر برهم‌کنش سه گانه بین پایه درختی، جهت طولی و جهت شعاعی در رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب تفاوت معنی‌دار از خود نشان نداد.

نتایج آزمون مقایسه میانگین جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در جهت شعاعی و طولی در شکل ۳ آمده است. نتایج مقایسه میانگین تغییرات رطوبت و جرم حجمی پایه چوب نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب در جهت طولی به ترتیب مربوط به پنج درصد ابتدایی طول تنه و بخش انتهایی تنه است. کمترین و بیشترین جرم حجمی پایه چوب به ترتیب به مقدار ۰/۵۵ و ۰/۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جهت شعاعی مشاهده شد. بیشترین مقدار جرم حجمی پایه چوب تنه در ۵ درصد ابتدایی طول تنه و کمترین مقدار مربوط به ۶۵ درصد از طول تنه به ترتیب به مقدار ۰/۵۹ و ۰/۵۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. نتایج نشان داد که جرم حجمی پایه چوب از بن تنه به سمت نوک تنه کاهش یافت. همچنین جرم حجمی پایه چوب از مرکز جهت شعاعی به سمت پوست چوب روند افزایشی داشت.

نتایج رطوبت سبز نشان داد که بیشترین رطوبت سبز در جهت شعاعی به مقدار ۰/۶۵ در قسمت نزدیک به پوست (S1) و کمترین میانگین رطوبت سبز به مقدار ۰/۶۳ در بخش مغز چوب (S3) وجود داشت. روند تغییرات رطوبت سبز در جهت طولی نشان داد که بیشترین و کمترین رطوبت سبز چوب به ترتیب در ۵ درصد ابتدایی طول تنه (P1) به مقدار ۰/۶۶ و قسمت ۶۵ درصد از طول تنه (P3) به مقدار ۰/۶۲ وجود داشت. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت سبز از ابتدای تنه به سمت انتهای تنه کاهشی است و روند آن از نزدیک به پوست به سمت نزدیک به مغز افزایشی است.

درون‌چوب به‌طور کامل پوسیده شده است و در بیشتر موارد شکل اصلی خود را از دست داده است البته به آسانی در مقابل ضربه به حالت پودری در می‌آیند و (۵): پوست درخت و درون‌چوب به‌طور کامل پوسیده شده و گاهی به‌طور کلی به هوموس تبدیل شده است همچنین پوشش علفی به‌طور کامل در آنجا مستقر شده است، استفاده شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogrov-Smirnov) مورد بررسی قرار گرفت. همگن بودن واریانس داده‌ها به وسیله آزمون همگنی واریانس (Levene's Test) بررسی شد. برای مقایسه مقادیر مختلف جرم حجمی پایه چوب در راستای طولی و شعاعی در یک پایه و بین پایه‌ها از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش حداقل میانگین توکی استفاده شد. با استناد بر خروجی داده‌ها از آزمون همبستگی پیرسون برای ارتباط بین متغیرهای جرم حجمی پایه و رطوبت سبز با قطر و ارتفاع درخت و آزمون همبستگی اسپرمن برای تجزیه ارتباط بین متغیرهای درجه پوسیدگی و دیگر متغیرها استفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل آماری در نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و برای بررسی روابط برهم‌کنش متغیرها از نرم‌افزار GenStat استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس تغییرات طولی و شعاعی رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب تنه درختان ممرز در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد که تغییرات رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب بین پایه‌های درختی، طولی و شعاعی در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.001$). همچنین اثر برهم‌کنش دوگانه بین جهت طولی و جهت شعاعی و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تغییرات طولی و شعاعی رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز

Table 1. ANOVA results of vertical and radial changes in green moisture content and trunk basic density of hornbeam trees

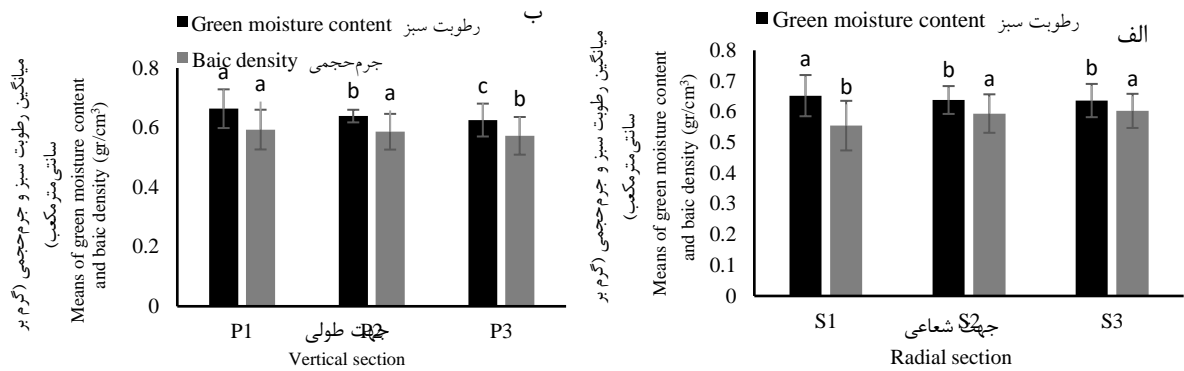
جرم حجمی پایه			رطوبت سبز			منبع تغییرات S.O. V
Basic density			Green moisture content			
آماره F و معنی داری F & p value	میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	آماره F و معنی داری F & p value	میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	
51.32**	0.0576	9	26.28**	0.0025	9	پایه های درختی Tree individuals
9.06**	0.0101	2	34.69**	0.0337	2	جهت طولی Vertical section
52.41**	0.0588	2	7.09**	0.0068	2	جهت شعاعی Radial section
6.77**	0.0076	18	12.63**	0.0122	18	پایه درختی × جهت طولی Tree individual × Radial section
10.55**	0.0118	18	0.39 ^{ns}	0.0033	18	پایه درختی × جهت شعاعی Tree individual × Vertical section
0.44 ^{ns}	0.0004	4	0.42 ^{ns}	0.0039	4	جهت طولی × جهت شعاعی Vertical section × Radial section
0.56 ^{ns}	0.0030	36	0.23 ^{ns}	0.0018	36	پایه درختی × جهت طولی × جهت شعاعی Vertical section × Radial section × Tree individual
-	0.001	180	-	0.001	180	خطا Error
-	5.73	-	-	4.85	-	ضریب تغییرات CV

^{ns} تفاوت معنی دار وجود ندارد، * تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد و ** تفاوت معنی دار در سطح یک درصد^{ns} There is no significant difference, * significant difference at the 5% level and ** significant difference at the 1% level

قطری مورد بررسی در شکل ۴ آمده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت سبز در تنه درختانی با درجه پوسیدگی سه با میانگین ۶۵/۸۴ درصد و کمترین مقدار رطوبت سبز به مقدار ۶۰/۱۸ درصد در تنه درختان با درجه یک پوسیدگی مشاهده شد. همچنین بیشترین جرم حجمی پایه در کلاسه پوسیدگی یک به مقدار ۵۹/۵۴ درصد و کمترین در کلاسه یک به مقدار ۵۵/۷۵ درصد مشاهده شد.

نتایج آزمون تجزیه واریانس رطوبت سبز و جرم حجمی پایه در سه درجه پوسیدگی و سه کلاسه قطری پایه های درختی در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد که رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز در طبقات قطری مختلف و با درجه پوسیدگی های مختلف به احتمال ۹۹ درصد دارای تفاوت معنی دار است. ($P < 0.001$)

نتایج آزمون مقایسه میانگین جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در درجه های پوسیدگی مختلف و طبقات



شکل ۳- آزمون مقایسه میانگین رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب در جهت شعاعی (الف) و جهت طولی (ب). حروف انگلیسی مشترک روی نمودار بیانگر عدم معنی داری است و حروف برای هر مشخصه جداگانه محاسبه شده است. P1، P2 و P3 به ترتیب ۵، ۳۵ و ۶۵ درصد از طول تنه و S1، S2 و S3 به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از طول شعاع جهت شعاعی تنه. رطوبت سبز به صورت ضریب ارائه شده که برای درصد رطوبت سبز، ضریب در ۱۰۰ ضرب شود.

Figure 3. Comparison test of the average green moisture content and basic density of wood in the radial section (A) and vertical section (B). Common English letters on the chart indicate insignificance, and the letters are calculated for each feature separately. P1, P2 and P3 are 5, 35 and 65% of the trunk length, respectively, and S1, S2 and S3 are 10, 50 and 90% of the trunk cross-sectional radius, respectively. Green moisture content is presented as a coefficient that is multiplied by 100 for the percentage of moisture.

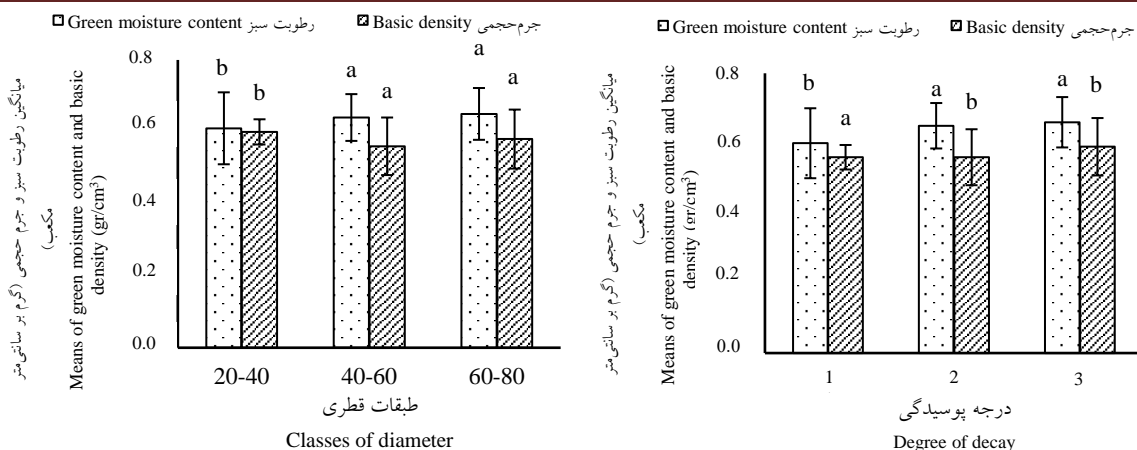
جدول ۴- تجزیه واریانس رطوبت سبز و جرم حجمی پایه در کلاسه‌های قطری و درجات پوسیدگی

Table 4. Analysis of variance of green moisture content and basic density in diameter classes and decay degrees

جرم حجمی پایه Basic density			رطوبت سبز Green moisture content			منبع تغییرات S.O. V
F و معنی داری F & p value	میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	F و معنی داری F & p value	میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	
11.63**	0.1066	2	12.24**	0.0717	2	کلاسه قطری Class of diameter
	1.2244	267		0.7626	267	خطا Error
	1.3310	269		0.8543	269	کل Total
	ضریب تغییرات = 11.58 CV			ضریب تغییرات = 8.43 CV		
5.03**	0.0118	2	13.52**	0.0780	2	درجه پوسیدگی Degree of decay
	0.0004	267		0.7712	267	خطا Error
	0.0030	269		0.8493	269	کل Total
	ضریب تغییرات = 5.73 CV			ضریب تغییرات = 8.37 CV		

** تفاوت معنی دار در سطح یک درصد

**Significant difference at the level of one percent



شکل ۴- مقایسه میانگین جرم حجمی پایه و رطوبت سبز چوب تنه در درجات مختلف پوسیدگی و طبقات قطری. رطوبت سبز به صورت ضریب ارائه شده که برای درصد رطوبت، ضریب در ۱۰۰ ضرب شود.

Figure 6. Comparison of average basic density and green moisture content of trunk wood in different degrees of decay and diameter classes. Green moisture content is presented as a coefficient that is multiplied by 100 for the percentage of moisture.

تنه درختان ممرز آمده است. نتایج آزمون‌های مقایسه میانگین به روش توکی نشان داد که بین کلیه مقادیر میانگین جرم حجمی و رطوبت سبز تحت تأثیر طبقات قطری و درجه پوسیدگی مختلف اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

در جدول ۷ میانگین رطوبت سبز در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز در درجات پوسیدگی و طبقات قطری مختلف مورد بررسی آمده است. نتایج نشان داد که اختلاف طبقات قطری و درجات پوسیدگی اثر معنی‌داری بر رطوبت سبز در راستای شعاعی نداشته است. در راستای طولی تنه تفاوت معنی‌داری بین رطوبت سبز در راستای طولی تنه درختان ممرز در درجات مختلف پوسیدگی مشاهده شد. به طوری که بیشترین و کمترین میانگین رطوبت سبز به ترتیب در فاصله پنج درصد (قطر برابر سینه) و در فاصله ۶۵ درصد از سطح زمین به مقدار ۰/۶۷ و ۰/۶۲ مشاهده شد. اما با تغییر طبقه قطری، اختلاف معنی‌دار بین رطوبت سبز در راستای طولی تنه مشاهده نشد.

آزمون مقایسه میانگین‌های جرم حجمی پایه در طبقات قطری نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار در کلاسه‌های ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب با ۶۰/۹۵ و ۵۶/۱۲ درصد مشاهده شد. همچنین در طبقات قطری ۶۰-۸۰ سانتی‌متر میانگین جرم حجمی پایه برابر با ۵۸/۹۴ درصد مشاهده شد. بیشترین کمترین رطوبت سبز در کلاسه قطری ۶۰-۸۰ سانتی‌متری و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری به ترتیب با ۶۵/۸۳ و ۶۱/۸۳ درصد مشاهده شد.

با توجه به جدول ۵، نتایج تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه با توجه به تغییرات رطوبت سبز و جرم حجمی پایه نشان داد که جرم حجمی پایه در راستای طولی و شعاعی در طبقات قطری مورد بررسی دارای تفاوت معنی‌دار نیستند ($P > 0.05$). البته رطوبت سبز در جهت طولی با تغییر درجه پوسیدگی، تفاوت معنی‌دار نشان داد ($P > 0.05$) اما در شعاعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۶ کمترین و بیشترین مقدار فراوانی و میانگین جرم حجمی پایه در راستای طولی و شعاعی

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل‌های هیرکانی

جدول ۵- تجزیه و تحلیل واریانس تغییرات شعاعی و طولی جرم حجمی پایه و رطوبت سبز با توجه به درجات پوسیدگی و طبقات قطری

Table 5. ANOVA of radial and vertical changes in basic density and green moisture content with respect to decay degrees and diameter classes

درجه پوسیدگی		طبقات قطری		منبع تغییرات S.O. V
Degree of decay		Class of diameter		
آماره F و سطح معنی داری F & p value	میانگین مربعات MS	آماره F و سطح معنی داری F & p value	میانگین مربعات MS	
				جرم حجمی پایه Basic density
1.02 ^{ns}	0.003	0.64 ^{ns}	0.001	جرم حجمی پایه در جهت طولی Basic density in vertical section
1.58 ^{ns}	0.004	0.73 ^{ns}	0.001	جرم حجمی پایه در جهت شعاعی Basic density in radial section
				رطوبت سبز Green moisture content
2.59*	0.004	2.14 ^{ns}	0.003	رطوبت سبز در جهت طولی Green moisture content in vertical section
1.64 ^{ns}	0.001	1.53 ^{ns}	0.003	رطوبت سبز در جهت شعاعی Green moisture content in radial section

ns و * به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح پنج درصد.

^{ns} There is no significant difference, * significant difference at the 5% level and ** significant difference at the 1% level

جدول ۶- میانگین (± اشتباه معیار) جرم حجمی پایه در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز

Table 6. Mean (± standard error) basic density in the radial and vertical directions of hornbeam tree trunks

درجه پوسیدگی			طبقات قطری			متغیر
Degree of decay			Class of diameter			
میانگین Mean	بیشینه Max	کمینه Min	میانگین Mean	بیشینه Max	کمینه Min	
						راستای شعاعی vertical section
0.55 ^a ± 0.03	0.63	0.36	0.58 ^a ± 0.02	0.63	0.51	جرم حجمی پایه در فاصله ۱۰ درصد Basic density in 10% of radial section
0.60 ^a ± 0.09	0.66	0.47	0.57 ^a ± 0.07	0.63	0.51	جرم حجمی پایه در فاصله ۵۰ درصد Basic density in 50% of radial section
0.60 ^a ± 0.03	0.64	0.56	0.57 ^a ± 0.01	0.63	0.41	جرم حجمی پایه در فاصله ۹۰ درصد Basic density in 90% of radial section

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد است.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level.

ادامه جدول ۶.

Continued table 6.

درجه پوسیدگی			طبقات قطری			متغیر
Degree of decay			Class of diameter			
میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	
Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	
						راستای طولی vertical section
0.59 ^a ± 0.04	0.66	0.47	0.61 ^a ± 0.04	0.66	0.56	جرم حجمی پایه در فاصله ۵ درصد Basic density in 5% of vertical section
0.58 ^a ± 0.07	0.66	0.45	0.59 ^a ± 0.03	0.66	0.56	جرم حجمی پایه در فاصله ۳۵ درصد Basic density in 35% of vertical section
0.57 ^a ± 0.04	0.63	0.47	0.59 ^a ± 0.04	0.63	0.56	جرم حجمی پایه در فاصله ۶۵ درصد Basic density in 65% of vertical section

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد است.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level.

جدول ۷- میانگین (± اشتباه معیار) رطوبت سبز در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز

Table 7. Mean (± standard error) green moisture content in radial and vertical direction of hornbeam tree trunks

درجه پوسیدگی			طبقات قطری			متغیر
Degree of decay			Class of diameter			
میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	
Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	
						راستای شعاعی vertical section
0.66 ^a ± 0.04	0.73	0.60	0.66 ^a ± 0.04	0.73	0.60	جرم حجمی پایه در فاصله ۱۰ درصد Moisture in 10% of radial section
0.64 ^a ± 0.02	0.67	0.60	0.65 ^a ± 0.05	0.75	0.59	جرم حجمی پایه در فاصله ۵۰ درصد Moisture in 50% of radial section
0.64 ^a ± 0.03	0.68	0.58	0.64 ^a ± 0.05	0.72	0.57	جرم حجمی پایه در فاصله ۹۰ درصد Moisture in 90% of radial section
						راستای طولی vertical section
0.67 ^a ± 0.05	0.76	0.62	0.66 ^a ± 0.06	0.76	0.60	جرم حجمی پایه در فاصله ۵ درصد Moisture in 5% of vertical section
0.64 ^a ± 0.02	0.67	0.60	0.64 ^a ± 0.03	0.67	0.57	جرم حجمی پایه در فاصله ۳۵ درصد Moisture in 35% of vertical section
0.62 ^a ± 0.04	0.72	0.57	0.63 ^a ± 0.03	0.72	0.57	جرم حجمی پایه در فاصله ۶۵ درصد Moisture in 65% of vertical section

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد است.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level.

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus L.*) در جنگل‌های هیرکانی

نتایج همبستگی بین قطر برابر سینه، طول درخت، رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز در جدول ۸ آمده است. نتایج نشان داد که بین تغییرات جرم حجمی پایه در راستای شعاعی و طولی نسبت به متغیرهای قطر برابر سینه و طول درخت همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. البته همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح معنی‌داری پنج درصد ($P < 0.05$) بین جرم حجمی پایه در راستای طولی و شعاعی به ترتیب با ضرایب $r = -0.866^*$ و $r = -0.866^*$ با درجه پوسیدگی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بین طول درخت و قطر برابر سینه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی همبستگی معنی‌دار وجود ندارد ($P < 0.05$). اما همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد ($P < 0.01$) بین رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی به ترتیب با ضرایب $r = -0.9467^*$ و $r = -0.945^*$ با درجه پوسیدگی مشاهده شد.

جدول ۸- همبستگی پیرسون و اسپیرمن بین رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز و متغیرهای مورد بررسی

Table 8. Pearson and Spearman correlation between green moisture content and trunk basic density of hornbeam trees and studied variables

همبستگی اسپیرمن Spearman correlation	همبستگی پیرسون Pearson correlation		
درجات پوسیدگی Degrees of decay	طول درخت Length of tree	قطر برابر سینه DBH	
-0.866*	0.3137 ^{ns}	0.1455 ^{ns}	جرم حجمی پایه در جهت شعاعی Radial basic density
-0.866*	0.2241 ^{ns}	0.4765 ^{ns}	جرم حجمی پایه در جهت طولی Vertical basic density
0.9045**	-0.5618 ^{ns}	-0.4138 ^{ns}	رطوبت سبز در جهت شعاعی Radial green moisture content
0.9467**	-0.4365 ^{ns}	-0.4131 ^{ns}	رطوبت سبز در جهت طولی Vertical green moisture content

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

^{ns} There is no significant difference, * significant difference at the 5% level and ** significant difference at the 1% level

بحث

ترسیب کربن و بررسی عملکرد کیفیت چوب درختان پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. برخی پژوهش‌ها تغییرات جرم حجمی در راستای طولی و شعاعی تنه را معنی‌دار دانستند (Navar, 2009) و برخی پژوهش‌ها عدم معنی‌داری جرم حجمی در راستای طولی و شعاعی تنه را نتیجه گرفتند (Rassam and Doosthoseini, 2002; Epinoza, 2004). در پژوهش حاضر تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($P < 0.001$) بین پایه‌های درختی ممرز مشاهده شد که این مسئله قابل بحث است. جرم حجمی چوب تحت

تغییرات جرم حجمی چوب درختان از پایین به سمت بالا و یا از مغز به سمت پوست می‌تواند بر یکنواختی کیفیت چوب درختان تجاری مانند راش و ممرز تأثیر بگذارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که همان‌طور انتظار می‌رفت، تغییرات رطوبت سبز چوب و جرم حجمی پایه تنه در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز دارای تغییرات معنی‌دار است. در ارتباط با روند تغییرات شعاعی و طولی جرم حجمی پایه با اهداف مختلف مانند اندازه‌گیری زی‌توده، اندازه‌گیری

گونه مختلف در مناطق استوایی و نیمه استوایی، گزارش شده است که در تعداد زیادی از گونه‌ها در هر دو جنگل، جرم حجمی به‌طور قابل توجهی به سمت پوست افزایش می‌یابد و در تعداد زیادی از گونه‌ها جرم حجمی کاهش می‌یابد که در این الگو روند مورد توافقی وجود ندارد (Heitz et al., 2013). البته در پژوهشی روند تغییرات جرم حجمی جهت شعاعی چوب تنه درختان بلوط را به‌صورت سینوسی گزارش کردند (Vahedi and Mattagi, 2014). علت اصلی اختلاف ابعادی چوب بین مغز و پوست چوب را به دلیل وجود حجم جوان چوب در ناحیه نزدیک به مغز و حجم بالغ چوب در ناحیه نزدیک به پوست بیان شده است (Hassanpoor et al., 2020). افزایش جرم حجمی و ابعاد لیاف در محور شعاعی درخت می‌تواند در نتیجه وجود مقدار زیاد چوب جوان در محدوده مغز و در مراحل اولیه رشد درخت باشد.

در این پژوهش نتایج حاصل از اندازه‌گیری رطوبت سبز تنه نشان داد که تغییرات رطوبت سبز در راستای شعاعی روند افزایشی داشته و از مغز به سمت پوست به رطوبت سبز افزوده شده است. همچنین در بررسی تغییرات رطوبت سبز در راستای طولی، مقدار رطوبت سبز در قسمت پایین تنه کمتر از قسمت بالا بوده است. در پژوهشی میانگین رطوبت چوب در محور شعاعی تقریباً یکنواخت و در قسمت ابتدا میانی و انتهای تنه به ترتیب ۴۵ تا ۵۷، ۴۷ تا ۶۶ و ۶۰ تا ۷۰ درصد گزارش شد و مقدار رطوبت در محور طولی از پایین تنه به سمت بالا روند افزایشی داشت (Rassam and Doosthoseini, 2002). در پهن‌برگان اختلاف رطوبت درون چوب و برون چوب چندان بارز نیست (Panshin and Zeeuw, 1980). معمولاً جرم ویژه در چوب پهن‌برگان پراکنده آوند در محور شعاعی تغییرات کمی دارد (Panshin and Zeeuw, 1980).

تأثیر عوامل مختلفی مانند ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب زمین و شرایط اداکیکی (Dosthoseini and Parsapajouh, 1996)، ژنوتیپ، سرعت رشد و سن کامبیوم قرار دارد (Panshin and Zeeuw, 1980). باتوجه به اینکه پایه‌های درختی از یک طبقه ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت جغرافیایی و حتی خاکی انتخاب شدند تا اثرهای محیطی تا حد امکان خنثی شود اما این سطح از معنی‌داری می‌تواند به سرشت گونه‌ای ممرز مرتبط باشد.

در این پژوهش، جرم حجمی پایه در راستای طولی از ابتدا به سمت انتهای تنه روند کاهشی را نشان داده است. روند تغییرات جرم حجمی پایه چوب در تمامی درختان یکسان نیست و از تابع ثابتی پیروی نمی‌کند. نتایج پژوهش‌های مختلف در ارتباط با روند تغییرات جرم حجمی پایه چوب در تنه بسیار متنوع است و سه دسته نتیجه‌گیری در این باره وجود دارد. دسته اول معتقدند که جرم حجمی چوب تنه از قسمت ابتدایی تنه به سمت تاج روند کاهشی دارد (Kord, 2010) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. دسته دوم نتیجه‌گیری کردند که جرم حجمی از کنده به سمت نیمی از ارتفاع کل کاهش یافته و سپس به سمت بالای تنه روند افزایشی داشته است (Epinoza, 2004).

نتایج پژوهش نشان داد که جرم حجمی پایه چوب از مغز چوب به سمت پوست روند کاهشی دارد. در پژوهش‌های زیادی روند تغییرات جرم حجمی در محور شعاعی درخت را کاهشی بیان کردند (Henry et al., 2010; Kord, 2010). این الگو با الگوی ارائه شده توسط Epinoza (2004) همخوانی ندارد و روند تغییرات جرم حجمی از مغز به سمت پوست را افزایشی گزارش داد. همچنین در بررسی تغییرات جرم حجمی چوب در جهت شعاعی ۳۰۰

بالا افزایشی بود. به عبارت دیگر با افزایش قطر درختان ضریب رطوبت سبز نیز افزایش یافت. نتایج همبستگی وجود رابطه معکوس بین قطر و جرم حجمی پایه چوب تنه درختان ممرز را نشان داد (جدول ۸). با افزایش قطر درختان جرم حجمی ویژه درخت کاهش پیدا می‌کند (Pape, 1999). این موضوع نشان می‌دهد که رشد بیشتر درخت منجر به کاهش جرم حجمی خواهد شد که در پژوهش گذشته به آن اشاره شد (Johansson, 1993). یکی از دلایل تفاوت جرم حجمی پایه در طبقات قطری مختلف را می‌توان به اختلاف در عرض حلقه سالیانه بیان کرد. نتایج همبستگی نشان داد که انتظار است با افزایش قطر برابرسینه درختان جرم حجمی پایه و رطوبت سبز چوب تنه درختان ممرز کاهش پیدا کند، زیرا همبستگی منفی بین جرم حجمی پایه و قطر برابر سینه و رطوبت مشاهده شد (جدول ۸). همبستگی منفی بین عرض حلقه و جرم حجمی در پژوهش گذشته گزارش شد (Madsen et al., 1978). به‌طور کلی روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز درخت ممرز نشان داد که در بین پایه‌های مختلف درختی و در راستای طولی و شعاعی چوب تنه تفاوت معنی‌دار وجود دارد. روند تغییرات جرم حجمی در راستای طولی از پایین به بالا و در راستای شعاعی از مغز به پوست روند کاهشی داشت. مقدار رطوبت سبز نیز در راستای طولی از پایین به بالا و از پوست به مغز روند افزایشی داشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش قطر، افزایش طول و افزایش رطوبت سبز تنه درختان ممرز جرم حجمی پایه کاهش می‌یابد.

شاید بتوان گفت که به دلیل جوان‌تر بودن چوب در قسمت بالای تنه به دلیل رشد طولی درختان از شاخه انتهایی، انتظار رطوبت بیشتر در این قسمت وجود داشته باشد.

نتایج جرم حجمی پایه و رطوبت سبز پایه‌های درختی در درجات مختلف پوسیدگی نشان داد که هرچه مقدار پوسیدگی بیشتر شده است رطوبت سبز روند افزایشی و جرم حجمی پایه روند کاهشی داشته است (شکل ۴). با افزایش درجه پوسیدگی چوب، بافت چوب دچار تغییراتی از نظر فیزیکی مانند ایجاد خلل و فرج ریز و درشت خواهد شد که سبب افزایش رطوبت چوب می‌شود (Ebrahimi et al., 2015). در پژوهش‌های مختلف نیز نتایج مشابه در ارتباط با رابطه معکوس بین افزایش درجه پوسیدگی و کاهش جرم حجمی گزارش شد (Sefidi, 2016; Alidadi, 2014). نتایج جرم حجمی پایه و رطوبت سبز پایه‌های درختی در درجات مختلف پوسیدگی نشان داد که هرچه مقدار پوسیدگی بیشتر شده است رطوبت سبز و جرم حجمی پایه روند کاهشی داشت. دلیل این موضوع را می‌توان به تخریب فیزیکی چوب به‌ویژه سلولز در اثر پوسیدگی مرتبط دانست که با افزایش مقدار پوسیدگی چوب، خلل و فرج در ساختمان چوب ایجاد می‌شود که سبب کاهش مقدار جرم حجمی چوب خواهد شد (Ebrahimi et al., 2015).

آزمون مقایسه میانگین‌های جرم حجمی پایه در طبقات قطری نشان داد که روند در طبقات قطری به‌طور خطی کاهشی یا افزایشی نیست. این روند به این صورت بود که در طبقات قطری ۲۰-۴۰ سانتی‌متری بیشترین مقدار را داشت و در طبقه قطری ۴۰-۶۰ سانتی‌متری کاهش یافت و دوباره در طبقه قطری ۶۰-۸۰ سانتی‌متری افزایش یافته است. روند رطوبت سبز در طبقات قطری از طبقات پایین به سمت

قرقبان جنگل‌های پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، برای هماهنگی‌های لازم به‌منظور تهیه نمونه‌ها در جنگل کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

بدین‌وسیله از آقای مهندس کی‌پور رییس وقت اداره منابع طبیعی میاندرود، مهندس جابر احمدی سرپرست اداره منابع طبیعی واحد داربکلا و جنگلبان رضا بابویه،

References

- Alidadi, F.; Marvie Mohadjer, M.R.; Etemad V.; Sefidi K., Decay dynamics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) deadwood in mixed beech stands. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 22 (4), 624-635. (In Persian).
- Dosthoseini, K.; Parsapajouh, D., Changes in physical properties and fiber length of hornbeam species in the radial and longitudinal axes of the tree. *Journal of the Iranian Natural Resource* **1996**, 50, 69-70. (In Persian)
- Ebrahimi, Gh.; Karimi, F.; Taheri, F.; Rostampour, A., Wood structure and properties. University of Tehran Press **2015**, 488p (In Persian).
- Espinoza, J. A., Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. *New Forests* **2004**, 28 (2), 309-317.
- Hassanpoor tichi, A.; Divkolae, M. R.; Khatiri, A.; Alizadeh, R., Investigation of Changing Trends in Morphological & Anatomical Characteristics of *fraxinus excelsior* in Stem Radial Axis (Case Study: Mazandaran Province). *Quarterly Research Journal of Technical and Vocational University* **2020**, 17 (2), 81-91. (In Persian)
- Henry, M.; Besnard, A.; Asante, W.; Eshun, J.; Adu-Bredu, S.; Valentini, R.; Bernoux, M.; Saint-André, L., Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management* **2010**, 260 (8), 1375-1388.
- Kimberley, M. O.; Beets, P. N.; Paul, T. S., Comparison of measured and modelled change in coarse woody debris carbon stocks in New Zealand's natural forest. *Forest Ecology and Management* **2019**, 434, 18-28.
- Kord, B.; Kialashaki, A.; Kord, B., The within-tree variation in wood density and shrinkage, and their relationship in *Populus euramericana*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **2010**, 34 (2), 121-126.
- Machado, J. S.; Louzada, J. L.; Santos, A. J.; Nunes, L.; Anjos, O.; Rodrigues, J.; Simões, R. M.; Pereira, H., Variation of wood density and mechanical properties of blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.). *Materials & Design (1980-2015)* **2014**, 56, 975-980.
- Madsen, T.; Moltesen, P.; Olesen, P., The influence of thinning degree on basic density, production of dry matter, branch thickness and number of branches of Norway spruce [Denmark]. *Forstlige Forsoegsvaesen i Danmark* **1978**.
- Mohammadi, M.; Vatankhah, Gh.; Enayati, Gh., Morphology of injuries and type of fungal damage to wood. *Journal of Plant Diseases* **2009**, 5 (3), 76-81. (In Persian)
- Návar, J., Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest ecology and Management* **2009**, 257 (2), 427-434.
- Panshin, A.J.; De Zeeuw, C., Textbook of wood technology. 4th edition, New York: MC, *Graw Hill Inc* **1980**, 722 pp.
- Pape, R., Influence of thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* **1999**, 14 (1), 27-37.
- Parsapour, M.K.; Kooch, Y.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J., Quantitative evaluation of soil carbon and nitrogen dynamics under oak and alder afforestations. *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7 (2), 235-248. (In Persian).
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Schütze, G.; Kemmerer, J.; Uhl, E., Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management* **2018**, 429, 589-616.
- Rassam, Gh.; Doosthoseini, K., Variations of the physical and anatomical properties of *Fagus orientalis* (wood & bark) in Sihkal forest. *Iranian Journal of Natural Resources* **2002**, 55 (2), 189-201. (In Persian)
- Sefidi, Q.; Efandiari, F.; Sharari, M., Determine the rate of decay of dead trees of oriental

- beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Asalem forests. *Environmental* **2016**, 42 (3), 551-563. (In Persian)
- Tobin, B. Carbon sequestration in Sitka spruce in Ireland. University College Dublin, 2006.
- Vahedi, A.A., Optimal allometric biomass equations for Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) boles within the Hyrcanian forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 22 (2), 225-236. (In Persian)
- Vahedi, A.A.; Mattagi, A., Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (*Quercus castaneifolia* C.A. May) bole in relation to physiographical units of Hyrcanian natural forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 21 (4), 716-728. (In Persian)
- Vatani, L.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J.; Raeini Sarjaz, M.; Shamsi, S. S., Soil physico-chemical properties 20 years after plantation in the Iranian northern forests (Emphasizing on carbon and nitrogen stocks in plantation with broadleaved and coniferous species). *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7 (1), 93-105. (In Persian).
- Zarafshar, M.; Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M.; Bordbar, S.K.; Negahdarsaber, M.; Roustaei, M.J.; Enayati, K.; Abbasi, A., The impact of wild pear (*Pyrus syriaca* and *P. globra*) stand management on carbon storage of soil and litters and some soil characteristics (case study: Dehkohne forest of Sepidan, Fars Province). *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7 (2), 313-325. (In Persian).

Trend of changes in basic density and green moisture content in the vertical and radial direction of hornbeam tree trunks (*Carpinus betulus* L.) in Hyrcanian forests

F. Bakhshi^{*1}, A. Fallah², A. A. Vahedi³ and M. Imani Rastabi⁴

1- M.Sc. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (faterebakhshi19.9@gmail.com)

2- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (fallaha2007@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran. (Ali.Vahedi60@gmail.com)

4- Ph.D, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (M_imani_M@yahoo.com)

Received: 05.07.2021 Accepted: 06.11.2021

Abstract

The aim of this study was to investigate the trend of changes in basic density and green moisture content of hornbeam trees in the vertical and radial direction of trunk wood. Therefore, a complete disk was prepared from 10 fallen trees in 20-40, 40-60 and 60-80 diameter classes and different decay degrees (grades 1, 2 and 3). The disks were prepared at intervals of 5, 35 and 65% of the vertical sections of the trunk. Then, the sample pieces with a fixed volume of $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ were fragmented at a ratio of 10, 50 and 90% of the radial sections of the disks and were obtained their basic density and green moisture content. The results showed that the green moisture content and trunk basic density of hornbeam trees in different diameter classes with the degree of decay had a significant difference with a probability of 99% ($P < 0.001$). The highest mean basic density values were observed in the distance of 5% in the vertical direction and 90% in the radial direction of the trunk wood with 0.59 and 0.60 g / cm³, respectively. The highest mean values of green moisture content were observed in 90% in the radial direction of 0.65 and the distance of 5% in the vertical direction of 0.66. Of course, green moisture content in vertical sections showed a significant difference with changing the degree of decay ($P > 0.05$), but no significant difference was observed in radial sections. The results of correlation showed that basic density has the highest significance correlation with diameter equal to the breast and the lowest significance correlation with the coefficient of moisture.

Keywords: Basic density, Degree of decay, Green moisture content, Biomass, Diameter classes.

* Corresponding author

Tel: +989119139215

برهم کنش عناصر غذایی، pH و پتانسیل اسمزی محیط کشت بر کالوس‌زایی و جنین‌زایی درخت پائولونیا در شرایط درون شیشه‌ای

یاسین دومانلی^۱، سید محمد مهدی مرتضویان^{۲*}، علی ایزدی دربندی^۳ و حسین رامشینی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. (yassin.dumani@ut.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. (mortazavian@ut.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. (aizady@ut.ac.ir)

۴- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. (ramshini_h@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

چکیده

پائولونیا درختی تندرشد، صنعتی و زینتی با خواص دارویی است. این پژوهش برای بررسی پتانسیل اسمزی محیط کشت پایه MS تحت تأثیر عناصر درشت و ریزمغذی انجام شد؛ همچنین تأثیر پتانسیل اسمزی روی القای کالوس، جنین‌سوماتیکی، باززایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانتی و تنوع سوماکلونال انجام شد. آزمایش، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و شامل دو شاخص، ریزنمونه (برگ و دمبرگ) و ۸ نوع محیط کشت حاوی ترکیبات مختلف عناصر محیط کشت همراه با ترکیبات مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی انجام شد. نتایج نشان داد بالاترین میزان القای کالوس، جنین‌زایی سوماتیکی و باززایی در محیط‌هایی با یک دوم و یک چهارم برابر عناصر درشت مغذی محیط کشت MS مشاهده شد. با کاهش عناصر درشت مغذی به‌ویژه منابع نیترات در محیط کشت، فعالیت آنتوسیانین، کلروفیل، تعداد جنین و پتانسیل اسمزی افزایش یافت. با این حال سرعت رشد کالوس و تنوع سوماکلونال کاهش یافت. در محیط کشت ۸، کالوس‌ها و کالوس‌های جنین‌زا بدون سوختگی، شفاف، گیاهچه‌های باززاشده شاداب‌تر و در برگ‌های گیاهچه‌ها بیشترین رنگ‌دانه‌ها مشاهده شد. در محیط‌های کشت MS کامل، القای کالوس، جنین‌سوماتیکی، پتانسیل اسمزی، آنتوسیانین و محتوای کلروفیل کاهش یافت، درحالی‌که سرعت رشد کالوس و تنوع سوماکلونال افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، القای کالوس، پتانسیل اسمزی، تنوع سوماکلونال، جنین‌سوماتیکی.

مقدمه

برگی تولید می‌شود و پروتئین آن بین ۲۳ تا ۲۴ درصد است که قابل قیاس با یونجه نیست؛ از این رو پائولونیا می‌تواند جایگزین بسیار خوبی برای یونجه باشد (Yadav et al., 2013). رونق بالای پائولونیا منبع خوبی برای تولید عسل است (Yadav et al., 2013) سالانه در هر هکتار ۷۰۰ کیلوگرم عسل تولید می‌شود. عسل پائولونیا رنگ و کیفیت بالاتری از *Robinia pseudoacacia* L. دارد. درخت پائولونیا جاذب عناصر سنگین و گازهای سمی در خاک و هواست و از سوی دیگر سبب تصفیه گرد و غبار هوا و ذرات معلق در هوا می‌شود. کشور بوسنی و هرزگوین که جزو یکی از کشورهای آلوده به عناصر سنگین است با کاشت درخت پائولونیا تا حدودی بر این مشکل غلبه کرده است (Huseinovic et al., 2017). کشت بافت گیاهی به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم تکثیر غیرجنسی می‌تواند راه حلی برای مشکلات تکثیر این گیاه از طریق قلمه باشد. القای جنین‌های سوماتیکی که به‌طور مستقیم از بافت‌های بالغ درخت یا کمینه از بافت‌های غیر بذر مانند اندام‌های برگ و یا بخش‌های ساقه گرفته می‌شود اهدافی مهم در کشت بافت گونه‌های جنگلی است (Clapa et al., 2014). روش اصلی تکثیر بسیاری از گونه‌های چوبی با بذر است؛ در حالی که امروزه تکثیر سنتی به‌دلیل مشکلاتی مانند جوانه‌زنی ضعیف بذر، رشد آهسته، حساسیت به آفات و بیماری‌ها، قلمه‌زنی و کارایی پایین آن در واحد سطح، چندان موفق نیست. به‌همین دلیل تأکید بر لزوم توسعه سیستم‌های قابل اعتماد برای تولید جنین سوماتیک است (Jain and Gupta, 2018). علاوه بر موارد فوق، از آنجایی که تکثیر پائولونیا از طریق کشت بذر با مشکلات متعددی مانند تولید گیاهچه ضعیف، عدم تولید گل و بذر در این گیاه در سال‌های اولیه رشد و احتمال وقوع تفرق در گیاهان حاصل از جوانه‌زنی بذر

پائولونیا با نام علمی (*Paulownia sp*) یکی از مهم‌ترین گونه‌های درختی و اقتصادی دنیا، متعلق به خانواده *Paulowniaceae* (*Scrophulariaceae*) و بومی چین است. امروزه بیش از ۲۰ جنس از آن شناخته شده است. مدت زمان وارد شدن پائولونیا به مرحله تولید مثل بسیار کوتاه است، به‌همین دلیل در شرایط مطلوب محیطی، طی چهار تا پنج سال چوب پائولونیا قابل بهره‌برداری است. چوب پائولونیا برای تولید نئوپان، کبریت‌سازی، کاغذ و کارتون‌سازی، لایه‌بری، مبل‌سازی، تولید ابزار موسیقی، جعبه دارو و ساخت لوازم تزئینی و صدها مصارف دیگر استفاده می‌شود (Yadav et al., 2013). درخت پائولونیا برای توسعه فضای سبز، ایجاد پارک و کشت توأم با انواع گیاهان زراعی در بسیاری از کشورها به‌صورت موفق به‌کارگرفته شده است (Yadav et al., 2013). درخت هشت تا ۱۰ ساله پائولونیا حدود ۱۰۰ کیلوگرم ترکیب سبز (برگ) و حدود ۲/۸ - ۳ درصد نیتروژن و ۴ درصد پتاسیم تولید می‌کند (Woods, 2008). زراعت چوب پائولونیا اصلی‌ترین منبع چوب در جهان است، از این رو کشاورزان اروپایی با پیروی از سیاست کشت آمیخته و توسعه سطح زیرکشت گیاهان تندرشد، به تدریج کشت این نوع گیاهان را گسترش می‌دهند (Zuazo et al., 2013). کنوانسیون کیوتو از بین گیاهان، کاشت درخت پائولونیا در مناطق آلوده و صنعتی را به‌دلیل تولید بالای اکسیژن (هر درخت سالانه مولد ۶ کیلوگرم اکسیژن) و جذب بالای دی‌اکسیدکربن (هر هکتار سالانه ۱۲۵۰ تن دی‌اکسید کربن را جذب می‌کند) توصیه کرد (Huseinovic et al., 2017). عملکرد یونجه در هر هکتار بین ۳ تا ۳/۵ تن است و مقدار پروتئین آن بین ۱۰ تا ۱۵ درصد است، درحالی‌که در هر هکتار پائولونیا ۶۲ تن کود

در این پژوهش از سه گونه درخت پائولونیا با نام‌های *Paulownia elongata*، *Paulownia shantung* و *Paulownia fortune* برای بررسی القای کالوس، جنین‌زایی سوماتیکی، باززایی و بررسی پتانسیل اسمزی محیط‌های کشت در سال ۱۳۹۶ استفاده شد. این آزمایش در گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات دانشکده ابوریحان دانشگاه تهران اجرا شد. ریزنمونه‌های برگ و دمبرگ از نهال‌های شش ماهه جوان و سالم گونه‌های مذکور تهیه شد. ابتدا ریزنمونه‌های برگ و دمبرگ برای ضدعفونی در محلول قارچ‌کش کاپتان دو گرم در لیتر حاوی چهار قطره تویین ۶۰ درصد به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. در مرحله بعد، ریزنمونه‌ها درون الکل ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه غوطه‌ور شده و با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. سپس ریزنمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه درون محلول هیپوکلرید سدیم دو درصد قرار داده شدند و ظرف حاوی آن‌ها به زیر هود لامینار منتقل شد. ریزنمونه‌ها روی کاغذ صافی استریل قرار داده شدند. محیط کشت مورد استفاده، موراشیک و اسکوگ (MS) بود. ترکیبات تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی طبق (جدول ۱) آماده و pH آن‌ها روی ۵/۸ تنظیم شد. استریل کردن محیط‌ها در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. این پژوهش از دو آزمایش پیاپی تشکیل شده است. آزمایش اول برای ریزازدیادی و بررسی پتانسیل اسمزی محیط‌های کشت انجام شد. در این مرحله، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از دو شاخص، شامل ریزنمونه (برگ و دمبرگ) و محیط کشت (هشت نوع محیط کشت حاوی ترکیبات مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد) در چهار تکرار انجام شد. در داخل هر پتری‌دیش پنج ریزنمونه کشت شد. آزمایش دوم، پس از تشکیل

مواجه است، از این‌رو این ضرورت را ایجاد می‌کند که از دیگر روش‌های تکثیر گیاهان مانند کشت بافت گیاهی در تولید آن بهره برد (Yadav et al., 2013). ترکیبات محیط کشت بافت از عوامل مهم محیطی در ایجاد تنوع سوماکلونال در گیاهان حاصل از کشت درون شیشه است. پتانسیل اسمزی در محیط‌های کشت نقش مهمی بر رشد سلول‌های گیاهی، بافت و اندام و ریخت‌زایی دارد (Ramarosandratana et al., 2001). افزودن اجزای محیط کشت، به‌ویژه عناصر درشت مغذی و ریز مغذی و منابع کربن، نشان‌دهنده تغییر پتانسیل اسمزی در محیط کشت است. Shi et al. (2009) اظهار کردند که بالاترین درصد کالوس جنین‌زا و القای کالوس در ریزنمونه درخت *Cinnamomum camphora* L. و پتانسیل اسمزی بالا با غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر ساکارز در محیط کشت مشاهده شد. در پژوهشی دیگر افزایش پتانسیل اسمزی در محیط کشت، مقدار کالوس‌زایی و القای جنین سوماتیکی را افزایش داد، که علت این امر ثابت بودن pH محیط کشت گزارش شد. در همین حال مشخص شد ریزنمونه‌های کشت‌شده در پتانسیل اسمزی بالا مواد غذایی بالایی مصرف کرده و سلول‌های در حال رشد در کمترین زمان، به بیشترین مقدار رشد خود می‌رسند (de Paiva and Otoni, 2003). هدف از این پژوهش، بررسی اهمیت پتانسیل اسمزی محیط کشت بر القای جنین سوماتیکی، باززایی، جلوگیری از احتمال وقوع تفرق، تنوع سوماکلونال و ایجاد فنوتیپ‌های متفاوت است که از طریق عناصر موجود در محیط کشت، تنظیم‌کننده‌های رشد و منبع کربن ایجاد می‌شود.

مواد و روش‌ها

جنین‌ها روی محیط‌های کشت برای بررسی تنوع سوماکلونال از نظر صفات بیوشیمیایی شامل کلروفیل و محتوای آنتوسیانین انجام شد. در این آزمایش، بیشتر جنین‌ها که در مرحله کوتیلدنی بودند برای استخراج

کلروفیل و آنتوسیانین انتخاب شدند. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شایان ذکر است برای شناسایی جنین‌ها و مرحله رشدی آن از استریومیکروسکوپ استفاده شد.

جدول ۱- محیط‌های کشت حاوی ترکیبات مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مورد استفاده در بررسی کشت بافت پائولونیا

Table1- Media containing different hormonal compositions used in Paulownia tissue culture study

محیط کشت Medium	2,4-D (mg/l)	TDZ (mg/l)	KIN (mg/l)	BAP (mg/l)	GA3 (mg/l)	ردیف Row
MS	0.3	2	-	-	-	1
A/2 MS	0.3	2	-	-	-	2
MS	0.5	-	0.5	-	-	3
1/2 MS	0.5	-	0.5	-	-	4
MS	0.3	-	2	4	0.30	5
A/2MS	0.3	-	2	4	0.30	6
1/2MS	0.3	-	2	4	0.30	7
1/2&A/4 MS	0.3	-	2	4	0.30	8

1/2&A/4: مقدار چهار برابر کاهش نمک‌های معدنی در محیط کشت

A/2: مقدار دو برابر کاهش نمک‌های معدنی درشت مغذی در محیط کشت

1/2: مقدار دو برابر کاهش عناصر درشت مغذی در محیط کشت

1/2&A/4: Reduction to half than twice the entire contents of the medium and reduction to a quarter of the macronutrients in the MS medium.

A/2: Reduction to half of macronutrients in the MS medium.

1/2: Reduction to half the entire MS medium content.

جذب نوری کلروفیل a و b به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و با استفاده از فرمول مربوطه، غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل بر حسب میلی گرم بر گرم به دست آمد.

برای سنجش غلظت کلروفیل، ۰/۲ گرم نمونه جنینی که در مرحله کوتیلدنی بود در استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987). سپس عصاره حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و تا رسیدن به حجم ۲۵ میلی‌لیتر و استخراج کامل کلروفیل به آن استون اضافه شد.

$$\text{Chlorophyll a (a کلروفیل)} = [12.7 (D663) - 2.69 (D645)] \times \frac{V}{1000W} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Chlorophyll b (b کلروفیل)} = [22.9 (D645) - 4.68 (D663)] \times \frac{V}{1000W} \quad \text{رابطه (۲)}$$

به‌طور کامل ساییده شد. سپس عصاره حاصل، سانتریفوژ شده و محلول رویی به مدت یک شب در تاریکی قرار گرفت. مقدار جذب در ۵۵۰ نانومتر

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین طبق روش (Wagner, 1997) مقدار ۰/۲ گرم از جنین‌ها در مرحله کوتیلدنی در ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی که شامل متانول و کلریدریک اسید به نسبت ۹۹ به یک است

خوانده شد. برای محاسبه غلظت، از ضریب خاموشی ($\epsilon=33000 \text{ mol}^{-2}\text{cm}^{-1}$) استفاده شد.

برآورد اجزاء واریانس

نظر به اینکه ضریب تغییرات یک مقدار مطلق و بدون واحد اندازه‌گیری است، از این‌رو مبنای خوبی برای مقایسه تنوع موجود بین صفات با واحدهای اندازه‌گیری متفاوت است. با فرض یکنواختی ژنتیکی جنین‌ها و کالوس‌های مورد آزمایش، میانگین مربعات بین گونه‌ها از دو جزء تشکیل شده است: الف- اختلاف بین جنین‌ها و کالوس‌ها ب- تغییرات محیطی بین اجزاء مربوط به جنین‌ها و کالوس‌ها. از این‌رو خواهیم داشت:

رابطه (۳): میانگین مربعات خطای آزمایش = واریانس محیطی

$$VE = MSe$$

رابطه (۴): واریانس ژنتیکی (VG)

$$VG = \frac{MSG - Mse}{r}$$

رابطه (۵): واریانس فنوتیپی (Vp)

$$Vp = VG + VE$$

رابطه (۶): ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV)

$$PCV = \frac{\sqrt{Vp}}{\bar{x}}$$

رابطه (۷): ضریب تغییرات ژنوتیپی (GCV)

$$GCV = \frac{\sqrt{VG}}{\bar{x}}$$

رابطه (۸): ضریب تغییرات خطا (ECV)

$$ECV = \frac{\sqrt{VE}}{\bar{x}}$$

رابطه (۹): وراثت پذیری عمومی (H2b)

$$H2b = \frac{VG}{VP}$$

رابطه (۱۰): پیشرفت یا سود ژنتیکی (GA)

$$GA = i. h. \sqrt{Vp}$$

در رابطه ۱۰ سود ژنتیکی i نمایانگر دیفرانسیل گزینش استاندارد شده است. از آنجا که شدت انتخاب کالوس‌ها برای القای جنین، ۵ درصد در نظر گرفته شد، مقدار i در این فرمول برابر با $2/06$ در نظر گرفته شد. کالوس‌هایی که دارای سرعت رشد بالا، شیری رنگ، تقریباً مایل به سبز و وارد مرحله قلبی شده بودند، برای القای جنین سوماتیکی انتخاب شدند. شایان ذکر است برای اطمینان از یکنواختی ژنتیکی ریزنمونه‌ها، تمام ریزنمونه‌ها از یک گیاه به‌عنوان پایه مادری تهیه شدند.

اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی محیط‌های کشت

تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد. تأثیر محیط

نتایج

جدول تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ریزنمونه برای تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد. تأثیر محیط

کشت روی همه صفات در سطح ۰/۰۱ معنی دار شد. همچنین اثر متقابل ریزنمونه و محیط کشت به جز پتانسیل اسمزی محیط کشت برای دیگر صفات شامل زمان القای کالوس، آنتوسیانین، کلروفیل، سرعت رشد القای کالوس و تعداد جنین غیر معنی دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه گیری شده در بررسی کشت بافت پائولونیا

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of measured traits in scrutiny Paulownia medium

تعداد جنین Embryo number	سرعت رشد کالوس Callus (cm) growth rate	کلروفیل Chlorophyll (mg/gr F.w)	آنتوسیانین Anthocyanin (μ Mol/gr F.w)	پتانسیل اسمزی محیط کشت Osmotic potential of media (Mpa)	زمان القای کالوس Callus induction time (day)	df	منبع تغییرات Source of variation
0.455 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.562 ^{ns}	1	ریزنمونه (a) Explant
10408.6 ^{**}	0.304 ^{**}	1.180 ^{**}	0.0536 ^{**}	0.033 ^{**}	340.61 ^{**}	7	محیط کشت (b) Medium
1.91848 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	0.0184 ^{**}	0.133 ^{ns}	7	a×b
2.99	0.037	0.0002	0.00002	0.0006	1.807	48	خطای آزمایشی Error

* و ** ns به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمالی ۱ درصد و عدم وجود تفاوت معنی دار.

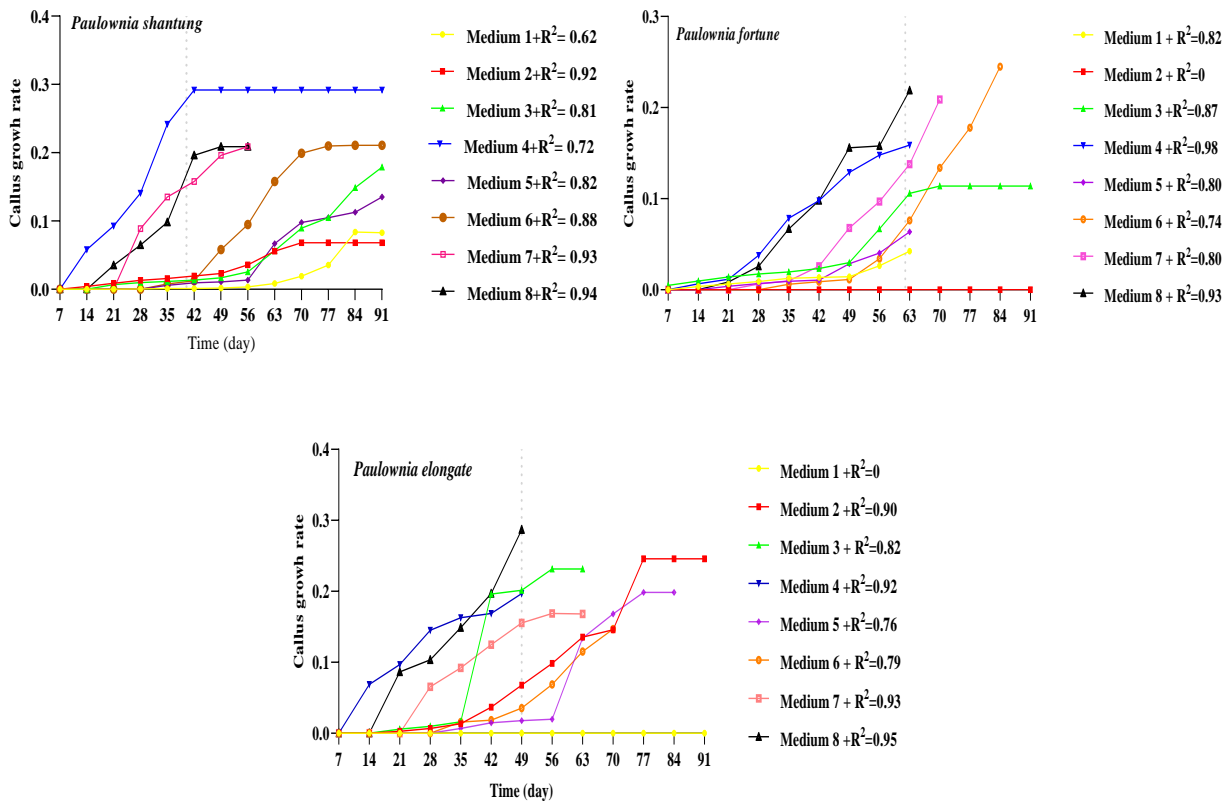
ns and ** non-significant and significant at 0.01 respectively

اتفاق می افتد (شکل a ۱). براساس این پژوهش، بیشترین مقدار رشد کالوسها در گونه *Paulownia fortunei* در محیط کشت ۴ در طی ۲۸ روز مشاهده شد و همچنین محیط کشت ۸، ۶ و ۷ به ترتیب در طی ۴۹، ۷۰ و ۵۶ روز به بیشترین مقدار رشد رسیدند (شکل b ۱). در گونه *Paulownia elongata* بیشترین مقدار رشد کالوسها در محیط کشت هشت در طی ۴۲ روز مشاهده شد (شکل c ۱).

این پژوهش نشان داد از میان ۳ گونه مورد پژوهش، گونه *Paulownia shantung* بالاترین تعداد جنین را ایجاد می کند (شکل a ۲). با این حال در هر ۳ گونه مورد بررسی، محیط کشت ۸ بیشترین تعداد جنین در بین محیطهای کشت مورد پژوهش را به خود اختصاص داد (شکل ۲). قابل توجه است محیط کشت ۷ بعد از محیط کشت ۸ بیشترین تعداد جنین را داشت.

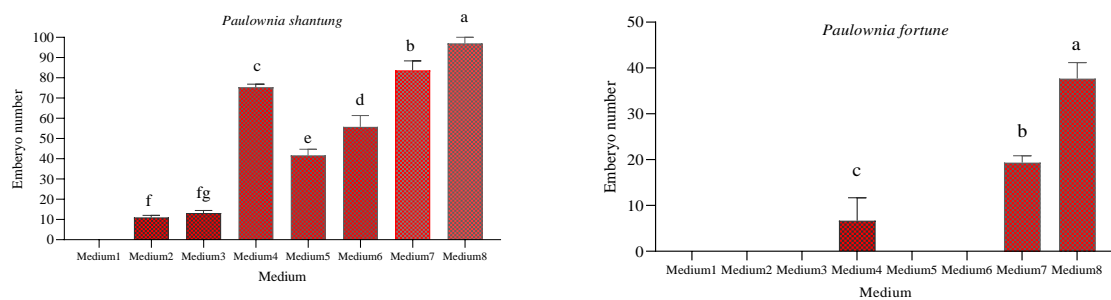
سرعت رشد کالوس، القای کالوس و جنین سوماتیکی و تعداد جنین

مقدار رشد کالوسها در هر سه گونه مورد بررسی (*Paulownia shantung*، *Paulownia elongata* و *Paulownia fortunei*) با نصف شدن نمکهای معدنی و کاهش غلظت محیط کشت پایه MS نسبت به محیط کشت پایه MS کامل (جدول ۱)، در کمترین زمان به بیشینه مقدار رشد خود رسید و روند کاهشی نشان داد. این امر در محیط کشت ۴ و ۸ نسبت به بقیه محیطهای کشت بیشتر مشهود است (شکل ۱). براساس نمودار سینتیک رشد در (شکل ۱) مقدار رشد و اندازه کالوسها در محیط کشتهای پایه MS کامل (محیط کشتهای ۳ و ۵) روند افزایشی در طی بیشترین زمان نشان داد (شکل ۱). نتایج نشان داد در گونه *Paulownia shantung* بیشینه مقدار رشد کالوسها در محیط کشت ۴ و ۸ در طی ۲۱ روز



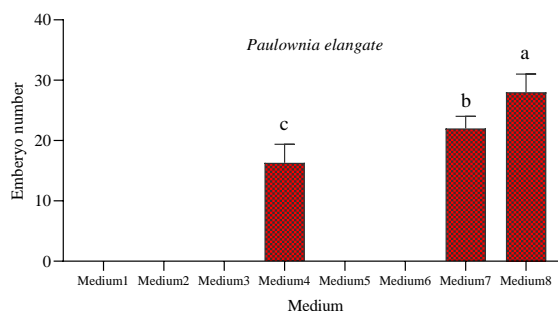
شکل ۱- سرعت رشد کالوس (CGR) بر حسب سانتی متر قطر در روز، در طی ۹۱ روز در گونه *Paulownia shantung* و *Paulownia elongata fortune* در ۸ نوع محیط کشت مختلف.

Figure 1. Callus growth rate (CGR) in terms of centimeters in diameter per day for 91 days in *Paulownia fortune*, *Paulownia elongata* and *Paulownia shantung* in eight different culture media.



شکل ۲- این شکل تعداد جنین هر گونه مورد بررسی را نشان می‌دهد. بیشترین تعداد جنین در گونه *Paulownia shantung* مشاهده شد (a). با کاهش عناصر درشت مغذی در محیط کشت به ویژه نیترات، تعداد جنین روی محیط‌های کشت افزایش یافت (محیط کشت شماره ۴، ۶، ۷ و ۸).

Figure 2 - This figure shows the number of embryos of each study species. The highest number of embryos was observed in *Paulownia shantung* (a). With the reduction of macronutrients in the culture medium, especially nitrate, the number of embryos on the culture medium increased (culture medium number four, six, seven and eight).



ادامه شکل ۲.

Continued figure 2.

این بررسی نشان داد محیط کشت ۴ (نصف شدن محیط کشت پایه MS)، نسبت به محیط کشت ۳ (محیط کشت پایه MS کامل) بیشترین اختلاف پتانسیل اسمزی، را نشان داد (شکل c و d ۳). پتانسیل اسمزی محیط کشت ۵ و ۶ سرنوشت مشابهی با محیط کشت ۳ و ۴ داشتند (شکل e و f ۳). اختلاف معنی داری بین پتانسیل اسمزی محیط کشت ۷ (نصف شدن محیط کشت پایه MS) و محیط کشت ۸ (نصف شدن محیط کشت پایه MS و با مقدار ۴ برابر کاهش نمک‌های معدنی (A/4) در محیط کشت) مشاهده شد. شایان ذکر است پتانسیل اسمزی محیط کشت ۸، بیشترین اختلاف را بین محیط‌های کشت داشت (شکل h ۳). بطور کلی می‌توان گفت در محیط کشت‌هایی که نمک‌های معدنی نسبت به محیط کشت‌های MS کامل، کاهش پیدا کرده است، پتانسیل اسمزی در آن‌ها افزایش یافت و اختلاف معنی داری بین دو مرحله اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی مشاهده شد.

ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی

واریانس ژنتیکی و فنوتیپی، تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی به‌عنوان درصدی از میانگین برای صفات مختلف ارزیابی می‌شوند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بالاترین ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی برای صفات القای کالوس در گونه *Paulownia shantung* در محیط کشت ۲، ۳ و ۵ مشاهده شده است. این امر برای گونه *Paulownia fortunea* نیز صدق می‌کند (جدول ۲). کمترین ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی برای صفات القای کالوس روی گونه *Paulownia shantung* و *Paulownia fortunea* در محیط‌های کشت که با کاهش ۴ برابر عناصر درشت مغذی و نصف شدن محیط کشت MS همراه بود، مشاهده شد (به‌ویژه محیط کشت ۶، ۷ و ۸).

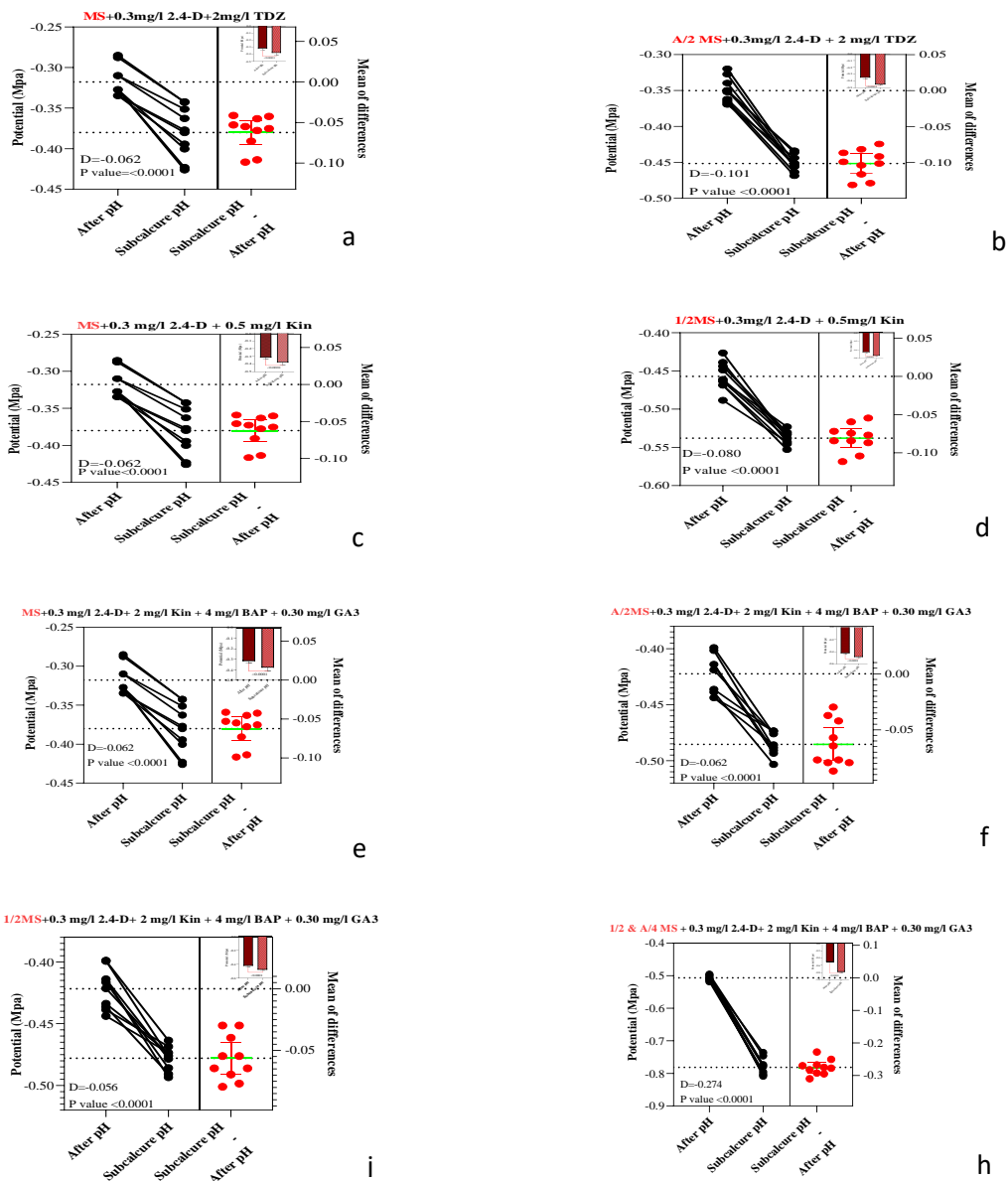
اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی محیط‌های کشت

نتایج نشان داد تغییر پتانسیل اسمزی قبل و بعد از واکشت کردن ریزنمونه‌ها (بعد از ۲۴ روز) در محیط کشت ۱ (محیط کشت پایه MS کامل)، از نظر آماری معنی‌دار است. شایان ذکر است در محیط کشت ۲، با نصف شدن عناصر درشت مغذی در محیط کشت، اختلاف پتانسیل اسمزی نسبت به محیط کشت ۱ (۱۰۱/۰- مگاپاسگال)، افزایش داشت (شکل a و b ۳).

جدول ۲- اجزاء واریانس محیطی، ژنوتیپی، فنوتیپی، وراثت‌پذیری و سودژنتیکی صفات القای کالوس برای هر سه گونه مورد بررسی

Table 2 - Components of environmental variance, genotypic, phenotypic, heritability and Genetic gain callus induction traits for all three species studied

G _A	H	ECV	GCV	PCV	V _p	V _g	MSe	MSm	گونه‌های مورد بررسی Studied species	محیط کشت Culture media
0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>Paulownia shantung</i>	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>Paulownia fortunei</i>	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>Paulownia elongata</i>	
81.37	0.88	39.03	110.27	116.97	1976	1756	220	9000	<i>Paulownia shantung</i>	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>Paulownia fortunei</i>	
0.20	0.01	33.79	4.30	34.06	37.6	0.6	37	40	<i>Paulownia elongata</i>	
81.89	0.89	20.20	59.93	63.24	1960	1760	200	9000	<i>Paulownia shantung</i>	3
11.28	0.51	1290.9	129.09	182.57	120	60	60	360	<i>Paulownia fortunei</i>	
0.67	0.08	18.50	5.61	19.33	14.96	1.26	13.7	20	<i>Paulownia elongata</i>	
46.32	0.81	14.42	30.36	33.61	760	620	140	3240	<i>Paulownia shantung</i>	4
23.32	0.69	34.40	52.17	62.49	264	184	80	1000	<i>Paulownia fortunei</i>	
2.33	0.10	31.25	10.82	33.07	112	12	100	160	<i>Paulownia elongata</i>	
37.31	0.86	16.83	42.37	45.60	440	380	60	1960	<i>Paulownia shantung</i>	5
4.60	0.25	193.64	111.80	223.60	80	20	60	160	<i>Paulownia fortunei</i>	
0.20	0.01	33.79	4.30	34.30	37.6	0.6	37	40	<i>Paulownia elongata</i>	
17.36	0.41	38.40	32.57	50.36	405.8	169.8	236	1085	<i>Paulownia shantung</i>	6
0.89	0.11	17.32	6.32	18.43	13.6	1.6	12.6	20	<i>Paulownia fortunei</i>	
3.1	0.41	7.85	6.57	10.24	13.6	5.6	8	36	<i>Paulownia elongata</i>	
11.28	0.5	10.46	10.46	14.80	120	60	60	360	<i>Paulownia shantung</i>	7
11.28	0.5	22.78	22.78	32.21	120	60	60	360	<i>Paulownia fortunei</i>	
2.33	0.1	20.83	7.21	22.04	112	12	100	160	<i>Paulownia elongata</i>	
19.54	0.75	12.16	21.06	24.32	160	120	40	640	<i>Paulownia shantung</i>	8
14.31	0.46	27.38	25.49	37.41	224	104	120	640	<i>Paulownia fortunei</i>	
3.05	0.36	3.39	2.59	4.27	16.16	5.96	10.2	40	<i>Paulownia elongata</i>	



شکل ۳- پتانسیل اسمزی محیط کشت، بعد pH و هنگام واگشت از محیط‌های کشت در هر ۳ گونه مورد بررسی *Paulownia elongata*، *Paulownia fortunei* و *Paulownia shantung*. نمودار میله‌ای و معکوس داخل نمودارها، نشانگر اختلاف بین محیط کشت در دو مرحله اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی بعد pH محیط کشت و هنگام واگشت است. نقطه‌های قرمز، پراکندگی و اختلاف میانگین پتانسیل اسمزی هر محیط کشت را نشان می‌دهد.

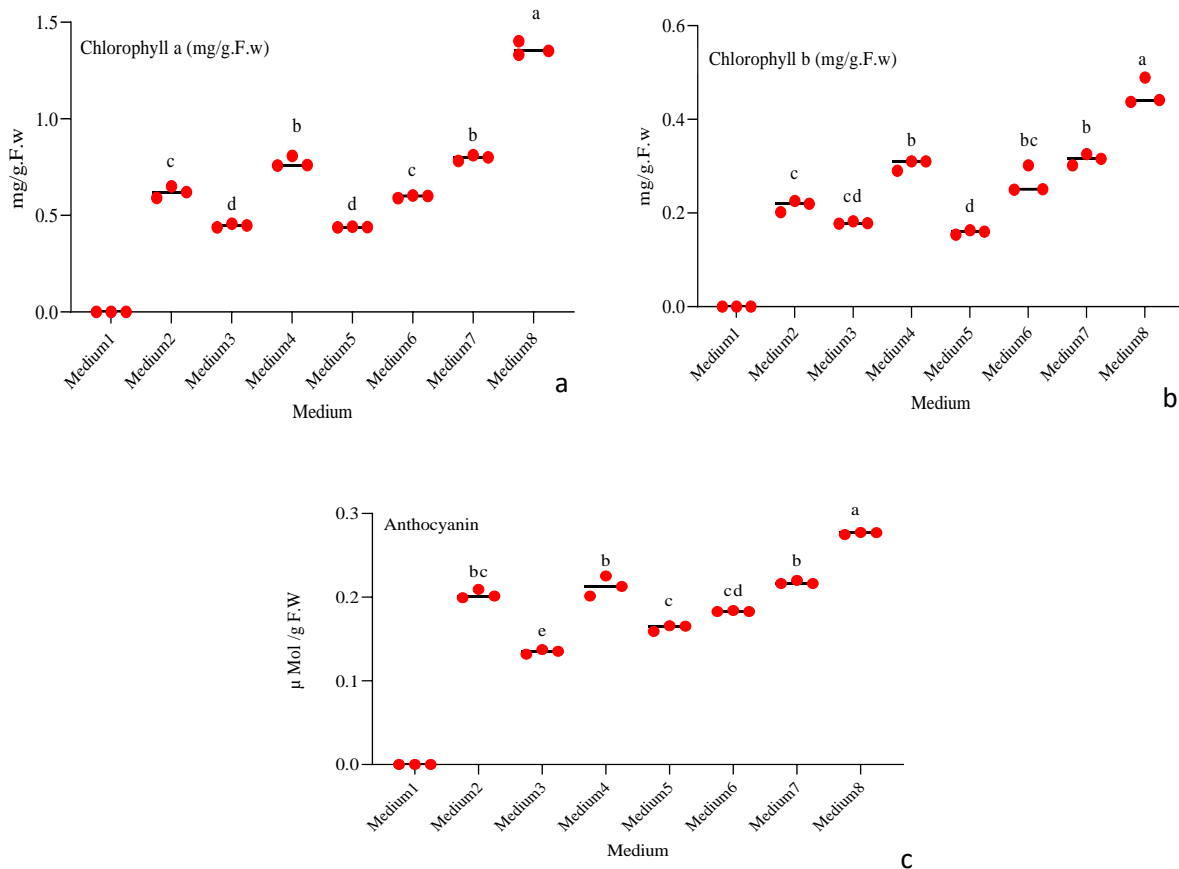
Figure 3. Osmotic potential of culture medium, pH dimension and when subculture culture media in all three studied species *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei* and *Paulownia shantung*. The bar and inverted diagrams inside the diagrams show the difference between the culture medium in the two stages of measuring the osmotic potential after the pH of the culture medium and subculture. The red dots indicate the scatter and the difference in the mean osmotic potential of each culture medium.

آنتوسیانین را دارا هستند (شکل c ۴). از سوی دیگر گیاهچه‌های باززاشده در این محیط‌های کشت (عناصر درشت و ریزمغذی کاهش یافت) از رنگدانه‌های

بررسی مقدار کلروفیل و آنتوسیانین این پژوهش نشان داد نمونه‌های به‌دست‌آمده در محیط کشت ۸ بین محیط‌های مورد بررسی بالاترین مقدار

محتوای کلروفیل a و کلروفیل b در محیط کشت‌هایی که حاوی یک دوم یا یک چهارم عناصر درشت مغذی بودند افزایش یافت (شکل a ۴). در این محیط‌های کشت رنگ‌دانه‌های بسیار بالایی بر روی برگ‌ها و گیاهچه‌های باززا شده مشاهده شد. بین محیط‌های مورد بررسی، محیط کشت ۸ بالاترین مقدار کلروفیل را به‌خود اختصاص داد (شکل i ۶).

بالایی برخوردار بودند؛ این امر بیشتر در مورد محیط کشت ۸ مشهود است (شکل i ۶). در محیط‌هایی که عناصر معدنی به‌ویژه آمونیوم کاهش پیدا کرده است (محیط کشت ۲، ۴، ۶، ۷ و ۸) شاهد افزایش محتوای آنتوسیانین (یکی از انواع آنتی‌اکسیدانت‌ها) بوده‌ایم (شکل c ۴). در محیط‌های MS کامل، بیشتر کالوس‌ها قهوه‌ای و از بین رفتند. همچنین جنین‌ها در مرحله قلبی شکل متوقف و از رنگ زرد یا سفید شیری به رنگ سفید برفکی تغییر کردند (شکل z و h ۶).



شکل ۴- مقدار کلروفیل و آنتوسیانین برای گونه *Paulownia shantung* در محیط‌های مختلف کشت. حروف لاتین غیر مشترک روی خط میانگین محیط‌های کشت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین محیط‌های مختلف کشت است. نقطه‌های قرمز اختلاف میانگین پراکندگی تکرار محیط‌های کشت است.

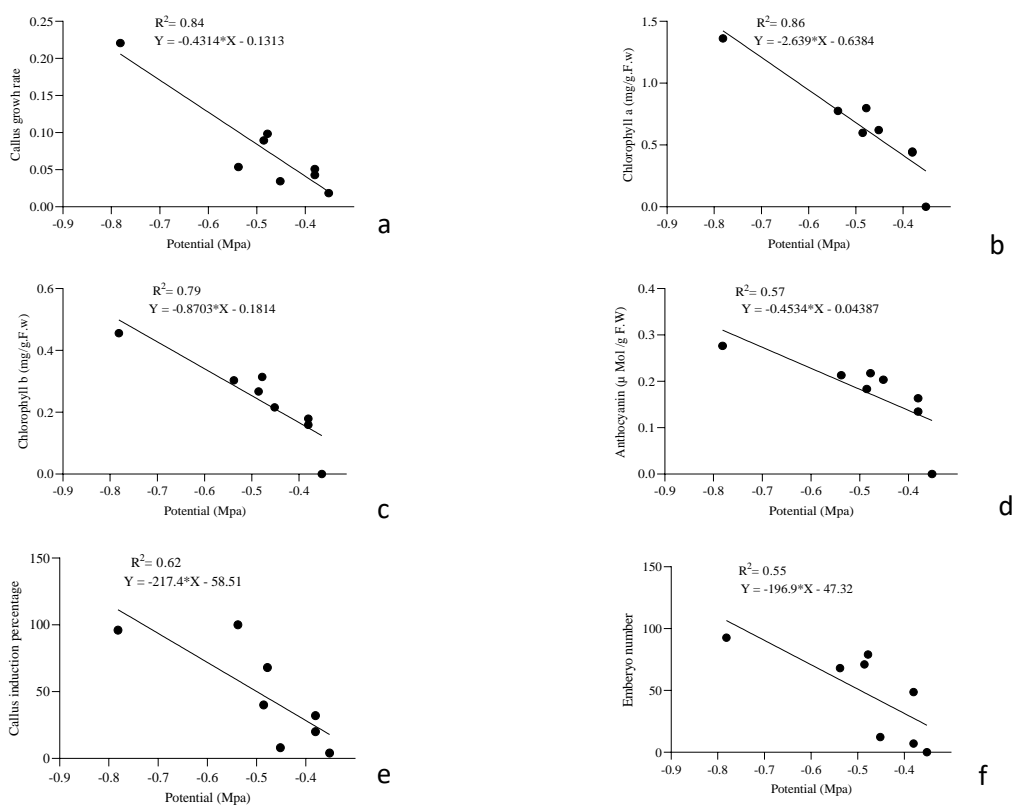
Figure 4 - Chlorophyll and anthocyanin levels for *Paulownia shantung* in different media. Non-common Latin letters on the median line of culture media indicate a significant difference between different culture media. Red points are the difference in the mean dispersion of the culture media.

بررسی مقادیر ضرایب همبستگی پتانسیل اسمزی (بر اساس میانگین صفات در محیط‌های کشت) در شکل

ضرایب همبستگی پتانسیل اسمزی

بیشینه رشد خود رسیدند. پتانسیل اسمزی با کلروفیل a، b، آنتوسیانین، درصد القای کالوس و تعداد جنین رابطه منفی داشت. همچنین، در محیط‌های کشتی که عناصر درشت مغذی و ریزمغذی به‌ویژه منابع نیترات کاهش یافته است، پتانسیل اسمزی افزایش یافت. باید اشاره کرد در این محیط‌ها بالاترین درصد القای کالوس، جنین‌سوماتیکی و باززایی مشاهده شد (شکل ۵).

۵ نشان می‌دهد پتانسیل اسمزی با سرعت رشد کالوس رابطه منفی ($R^2 = 0.84$ و $Y = -0.4313X - 0.1313$) دارد (شکل a). بین محیط‌های مورد بررسی محیط کشت ۸ بالاترین پتانسیل اسمزی را داراست و در این محیط کشت، سلول‌های در حال رشد در کمترین زمان به بیشینه رشد خود می‌رسند. شایان ذکر است که در این محیط کشت تمام کالوس‌ها و جنین‌های باززا شده سالم و بدون هیچ بازدارندگی در کمترین زمان به

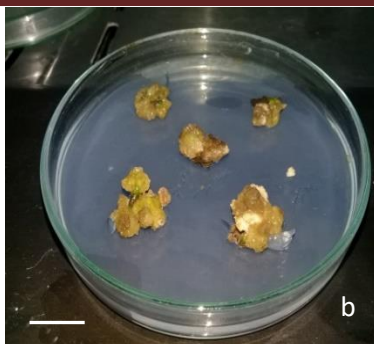


شکل ۵- رابطه رگرسیون خطی پتانسیل اسمزی با صفات مورد پژوهش.

Figure 5 - The relationship between linear regression of osmotic potential and the studied traits.



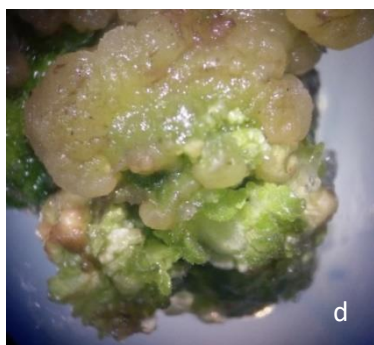
کالوس جنین‌ها بر روی محیط کشت ۴
Embryo callus on culture medium 4



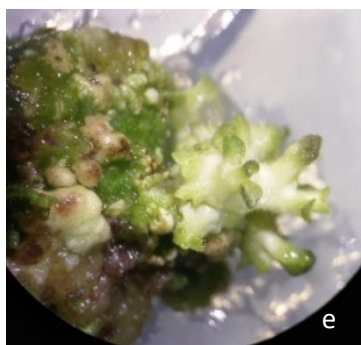
کالوس جنین‌ها بر روی محیط کشت ۸
Embryo callus on culture medium 8



کالوس جنین‌ها بر روی محیط کشت ۸ قبل از مرحله کوتیلیدونی شکل
Embryonic callus on culture medium 8 before the cotyledonary stage



باززایی جنین‌ها در مرحله کوتیلیدونی
Embryonic regeneration in the cotyledonary stage



باززایی کامل جنین‌ها در مرحله دو برگ
Complete regeneration of embryos in the two-leaf stage



کالوس باززا شده بر روی محیط کشت ۷
Callus regenerated on culture medium 7



کالوس غیر جنین‌ها بر روی کشت ۳ و ۵
Non-embryonic callus on culture medium 3 and 5



متوقف شدن جنین‌ها در مرحله قلبی شکل بر روی محیط ۳ و ۵
embryos stop in the heart-shaped stage on culture medium 5 and 3



باززایی گیاهچه‌های کامل از جنین‌ها بر روی محیط ۸
Regeneration of complete seedlings from embryos on the culture medium 8



گیاهچه‌ها در حال سازگاری
Seedlings are adapting



انتقال گیاهچه‌های سازگار یافته به گلدان‌های کشت
Transfer of adapted seedlings to culture pots



گیاهچه‌های سازگار یافته در گلخانه
Compatible seedlings in the greenhouse

شکل ۶- مراحل مختلف القای کالوس، جنین‌سوماتیکی و باززایی بر روی محیط‌های مورد بررسی.

Figure 6- Different stages of callus induction, somatic embryo and regeneration on the studied environments.

بحث

با این حال در محیط‌هایی که محیط کشت MS کامل و عناصر درشت مغذی به ۲ و ۴ برابر کاهش پیدا نکرده بودند درصد القای کالوس، درصد القای جنین سوماتیکی و باززایی کاهش یافت و در این محیط‌ها تعداد جنین‌سوماتیکی به کمترین تعداد رسید (شکل ۲). اطلاعات به‌دست آمده از این بررسی نشان داد در طی ۹۱ روز، رشد آهسته کالوس‌ها در محیط‌های کشت پایه MS کامل، شاید دلیلی بر مقدار رشد کمتر و جذب پایین مواد غذایی کالوس‌ها در محیط کشت و قدرت تمایزایی پایین کالوس‌ها بود. با وجود روند کاهشی سرعت رشد کالوس در محیط کشت‌های با نصف‌شدن نمک‌های معدنی و کاهش محیط کشت پایه MS (محیط کشت ۲، ۴، ۶، ۷ و ۸)، نسبت به محیط‌های کشت پایه MS کامل (۳ و ۵) می‌توان گفت که شاید سرعت رشد کالوس از پیری زودرس، رشد نامناسب و ناهموار آن جلوگیری می‌کند. همچنین می‌توان گفت جذب مواد غذایی توسط کالوس‌ها در این محیط‌های کشت (به ویژه ۴، ۷ و ۸)، بسیار بالا بوده و این امر سبب سرعت بالای مقدار رشد کالوس‌ها و تشکیل جنین‌های سوماتیکی بود. شایان ذکر است در محیط‌هایی که نمک‌های معدنی در آن‌ها کاهش یافته بود (۴، ۷ و ۸) کالوس برجسته و گره-مانند که بیشتر جنین‌زا بودند، تولید شد؛ در حالی که محیط‌هایی که از MS کامل استفاده شده بود کالوس‌های صاف و بدون آب یا به‌شدت آبدار، که به‌ندرت جنین‌زا بودند، تشکیل شد. در واقع در محیط‌های کشت (۴، ۶، ۷، ۸) نسبت به محیط‌های MS کامل به‌دلیل سهولت و سرعت جذب مواد غذایی، کالوس‌ها و جنین‌های سوماتیکی به‌سرعت تشکیل شده و رشد می‌کنند. این امر احتمالاً بیشتر می‌تواند به‌دلیل افزایش یا کاهش منبع نیتروژن (آمونیم) در محیط‌های کشت باشد (de Paiva and

تأثیر کاهش نترات بر القای جنین سوماتیکی و باززایی برای بهبود رشد سلول‌ها در گیاهان به‌ویژه در مقوله کشت درون شیشه درختان، کاملاً نوپا بوده و نیاز به پژوهش‌های گسترده‌تری دارد. در این پژوهش با کاهش نترات در محیط‌های کشت، تغییرات فیزیکی و شیمیایی اساسی در سلول‌های تمایز یافته، ایجاد شد. Dumani et al. (2020) بررسی روی پینه‌زایی، جنین‌زایی سوماتیکی و باززایی *Paulownia shantung* انجام دادند. بیشترین مقدار باززایی جنین‌های سوماتیکی روی محیط کشت $1/2 \times A/4$ MS + 0.2 mg/l 2,4-D + 2 mg/l Kin + 4 mg/l BAP + (0.3 GA3) به‌دست آمد. در محیط کشت‌های مورد استفاده، کالوس‌هایی که روی رگبرگ ریزنمونه‌های برگ جوان به‌دست آمدند توانایی جنین‌زایی نداشتند. طبق بررسی انجام‌شده، کالوس‌هایی که روی برگ مسن و دم‌برگ تشکیل شده بودند توانایی جنین‌زایی بالای نشان دادند و این قابلیت در محیط‌های ۴، ۷ و ۸ مشهودتر بود. بافت‌های مختلف یک اندام غلظت متفاوتی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و عناصر را نشان می‌دهند. گزارش شده که برگ پائولونیا حاوی ۳ درصد نیتروژن است (Woods, 2008) و دلیل اینکه با کاهش منبع نیتروژن القای جنین سوماتیکی و باززایی افزایش می‌یابد، می‌تواند غلظت بالای نیتروژن درون-زاد و از سوی دیگر کاهش سمیت ناشی از نیترون مازاد در محیط کشت باشد. در محیط کشت ۸ جنین‌ها ساختار و شکل متفاوتی داشتند و با سرعت بسیار بالاتری رشد کردند. این کالوس‌ها که آن‌ها را می‌توان "کالوس‌های جنین‌زای تندرشد" نامید در کمترین زمان به بیشینه رشد خود می‌رسیدند و باززایی گیاهچه‌ها انجام می‌شد. از سوی دیگر محیط کشت هشت بالاترین تعداد جنین را داشت (شکل ۲).

Chen et al. (2010) گزارش کردند دو محیط کشت MS $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{4}$ MS به‌طور معنی‌داری بر القای جنین‌زایی سوماتیکی تأثیر نمی‌گذارد، اما تأثیر قابل‌توجهی بر باززایی گیاهچه‌ها دارد. با ظهور گیاهچه‌ها در محیط کشت ۲ و ۳ در محل اتصال گیاهچه به ریزنمونه یک توده سفید برفکی در داخل گیاهچه‌ها شروع به فعالیت می‌کرد که سبب پاره‌شدن پوسته بیرونی گیاهچه‌ها و از بین رفتن آن‌ها می‌شد؛ حتی در بعضی از کالوس‌ها یا جنین‌ها هنگام باززایی در آن‌ها توده سفید رنگی شروع به فعالیت می‌کرد و سبب مهار شدن باززایی گیاهچه‌ها می‌شد. این پدیده روی هر ۲ ریزنمونه دم‌برگ و برگ مشاهده شد (شکل z ۶). این امر تا حدودی در مورد محیط کشت ۵ هم صادق است. گیاهچه‌های باززاشده در محیط کشت‌هایی که عناصر درشت مغذی به یک دوم و یک چهارم برابر کاهش پیدا کرده بود معمولاً حاوی برگ‌های پهنی بود و رنگ‌دانه‌های بسیار بالایی داشت. همچنین برگ‌ها جوان و شاد بودند و این امر در مورد محیط کشت ۸ مشهودتر است (شکل i و k ۶). گیاهچه‌های باززاشده در محیط کشت ۵ و ۳ حاوی برگ‌های تقریباً بیضی شکل بودند و برگ‌ها از سبزینه کمی برخوردار بودند. باید اشاره کرد بافت‌های مختلف حاوی غلظت متفاوتی از سایتوکینین است. دلیل احتمالی آن می‌تواند سیگنالینگ تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی سایتوکینین باشد که در فیلوتاکیسی (Phyllotaxy) برگ‌ها نقش دارد (Skalák et al., 2019). دلیل اینکه شکل برگ‌ها و دم‌برگ‌ها در محیط کشت ۵ و ۳ تغییر کرده است، تغییر در هموستازی سایتوکینین بوده است و این تغییر احتمالاً دارد به دلیل بالا بودن آمونیم در محیط کشت باشد. به‌طور کلی شاید بتوان گفت در محیط کشت‌های MS کامل نمک‌های معدنی، مانند نترات به

(Otoni, 2003). در محیط کشت‌های ۶، ۷ و ۸ با کاهش عناصر درشت مغذی و نصف شدن محیط کشت MS روند افزایش القای کالوس‌زایی، جنین‌زایی سوماتیکی و باززایی مشاهده شد (شکل ۱). طبق بررسی (Bao et al., 2012) روی گیاه *Rosa hybrida* مشخص شده است بیشترین باززایی و تشکیل جنین سوماتیکی در محیط کشت MS $\frac{1}{2}$ همراه با ترکیبات تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی تیدیاورون و 6- بنزیل آدنین بوده است، در حالی‌که محیط کشت MS کامل درصد باززایی و القای جنین سوماتیکی را کاهش داده است. در این بررسی، بیشتر جنین‌های سوماتیکی تشکیل شده در محیط کشت پایه MS $\frac{1}{2}$ و محیط کشت با کاهش ۲ و ۴ برابری عناصر درشت مغذی حفظ شدند و تقریباً هیچ‌گونه نقصی در این محیط‌های کشت مشاهده نشد. همچنین در این محیط‌ها مرحله‌های کروی، قلبی و اژدری شکل به‌راحتی قابل رویت بود. این امر بیشتر برای محیط کشت ۸ مشهود است (شکل a-e ۶). سلول‌های جنین‌زا در این محیط‌های کشت در کمترین زمان به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم مشاهده شدند که این امر در محیط کشت ۸ مشهودتر بود. با این حال، در محیط‌های کشت MS کامل، القای کالوس به سختی مشاهده شد و القای جنین سوماتیکی به‌صورت غیرمستقیم انجام شد. همچنین بیشتر جنین‌ها در این محیط‌های کشت از بین رفتند یا در مرحله قلبی شکل متوقف شدند. انتقال کالوس‌ها از محیط کشت پایه MS کامل به محیط کشت MS $\frac{1}{2}$ (کاهش ۴ برابر عناصر درشت مغذی و نصف شدن محیط کشت MS)، سبب شده کالوس‌ها به فرم جنین‌زا تغییر پیدا کرده و رشد جنین‌های سوماتیکی در کمترین زمان انجام شود. می‌توان گفت غلظت عناصر درشت مغذی (آمونیم) اثر قابل توجهی بر درصد القای کالوس، درصد

محیط‌هایی که در آن عناصر درشت‌مغذی کاهش یافت است، باشد و همچنین عدم تعادل pH در محیط‌های MS کامل باشد. حفظ تعادل یا عدم تعادل pH محیط کشت به مقدار غلظت آمونیوم در محیط کشت برمی‌گردد. وجود آمونیوم در محیط کشت، سبب عدم تعادل pH محیط کشت می‌شود (Chen et al., 2010). علاوه بر نور و دما عوامل متعددی مانند تغذیه هم می‌تواند مراحل بیوستتزی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی اکسین را تحت تأثیر قرار دهد، مثلاً اگر نیتروژن جذب شود می‌تواند مراحل بیوستتزی را محدود کند. می‌توان گفت در محیط‌هایی که عناصر درشت‌مغذی به یک دوم و یک چهارم برابر کاهش یافت که به دلیل عدم سمیت آمونیوم و حفظ تعادل pH محیط کشت، جذب نیترات سبب فعال‌شدن اسید آمینه تریپتوفان شد و رشد سلول‌ها در کمترین زمان به فعالیت خود ادامه پیدا کرده‌اند. این امر در مورد محیط کشت ۸ مشهودتر است. Romani در سال (2017) اظهار کرد در حضور تنظیم اکسین در سطح غشاء با پذیرنده ABP1 اتصال برقرار می‌کند با فعال شده ABP1، پروتون‌ها از سطح سیتوزل به سمت دیواره سلولی حرکت کرده و سبب اسیدی‌تر شدن دیواره سلولی می‌شود. با اسیدی‌شدن دیواره سلولی کانال‌های پتاسیمی فعال شده، همزمان پتانسیل اسمزی انجام می‌شود. به دلیل این امر آب و مواد غذایی به داخل سلول حرکت کرده و از سوی دیگر سبب شل شدن دیواره‌ای سلولی شده در نهایت رشد انجام می‌شود. همچنین طویل شدن سلول‌ها، به دلیل جذب اکسین و شل شدن دیواره سلولی است. یکی از مزایای کشت بافت در ریزازدیادی همسانی گیاهان باززا شده با پایه مادری است؛ در غیر این صورت از نظر ژنتیکی تنوع سوماکلونال رخ داده که پدیده مطلوبی نیست (Leva et al., 2012). شاید بتوان گفت یکی از علل زیادبودن تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی،

آمونیوم تبدیل شده و سبب تولید اتیلن در محیط کشت و افزایش فعالیت رادیکال‌های آزاد شده است. ماده فنولی در واکنش سلول‌ها قرار دارد و چون ریزنمونه‌ها به اندازه دیسک‌های یک سانتی‌متری تهیه شده بودند از مکان‌های برشی، تراوش ماده فنولی به محیط کشت افزایش یافت. این مساله سبب افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و قهوه‌ای شدن بافت، از بین بردن سلول‌های پیش‌جینی و ایجاد کلروز و نکروز بالای ریزنمونه‌ها می‌شود. از سوی دیگر اختلال در هموستازی سایتوکینین رخ خواهد داد. بررسی دیگر پژوهشگران نشان داد که دستکاری سطح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی سایتوکینین منجر به لوله‌شدن برگ‌ها و همچنین مورفوژنز (morphogenetic) برگ‌های در گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود (Shani et al., 2010). این پدیده می‌تواند سبب اختلال جذب تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، جذب مواد غذایی و ایجاد تأثیرات منفی و مخرب در ریزنمونه‌های کشت شده و همچنین گیاهان باززاشده شود (Bosak et al., 2019). در این بررسی، دریافتیم که کاهش ۲ یا ۴ برابری نیتروژن بر ریزنمونه‌های کشت شده مؤثر بوده و بر القای جنین‌زایی سوماتیکی مفید است. نتایج نشان داد درصد القای کالوس و جنین سوماتیکی در محیط کشت ۱ به صفر رسید به همین دلیل در نمودارها نشان داده نشده است. القای جنین سوماتیکی به هر دو فرم مستقیم و غیرمستقیم در محیط کشت ۸ در کمترین زمان انجام شد و کالوس‌ها و جنین‌هایی که در محیط ۸ القا شده بودند سلول‌های کشیده‌تری داشتند. همچنین زمان القای جنین سوماتیکی در محیط‌هایی که عناصر معدنی در آن‌ها به یک دوم و یک چهارم برابر کاهش یافت در مقایسه با محیط‌های MS کامل کاهش یافت (شکل a و b ۶). شاید دلیل این تفاوت‌ها بین محیط‌های کشت، به دلیل حفظ تعادل pH در

محیط کشت‌هایی که حاوی محیط کشت پایه MS کامل هستند، نمک‌های معدنی، مثل نیترات تبدیل آمونیوم شده و سبب تولید اتیلن در محیط کشت شده و فعالیت‌های رادیکال‌های آزاد در محیط کشت افزایش یافته است، از سوی دیگر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز، در محیط کشت شروع می‌شود. لازم به ذکر است ماده فنولی در واکنش سلول‌ها قرار داشته چون ریزنمونه‌های به اندازه دیسک‌های یک سانتی‌متری تهیه شده بودند، از مکان‌های برشی، تراوش ماده فنولی در محیط کشت افزایش یافت. می‌توان نتیجه گرفت که در محیط‌های مذکور به دلیل افزایش شانس تبدیل نیترات به آمونیوم و تراوش ماده فنولی در محیط‌های کشت توانایی پایین جذب مواد غذایی توسط ریزنمونه‌های کشت شده، شیشه‌ای شدن محیط‌های کشت، آزاد شدن مولکول‌های آب، توانایی پایین جذب ساکارز و آب توسط ریزنمونه‌ها، سبب کاهش کمتر پتانسیل اسمزی در محیط‌های کشت، MS کامل شده است. از سوی دیگر در محیط کشت‌های که نمک‌های معدنی کاهش پیدا کرد. شانس افزایش تبدیل نیترات به آمونیوم کاهش پیدا کرده و احتمال فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در محیط‌های کشت کم می‌شود، آزاد شدن ملکول‌های آب کاهش پیدا کرده، پدیده شیشه‌ای شدن محیط کشت کاهش یافته، توانایی بالای جذب مواد غذایی و آب و ساکارز در محیط کشت، سبب افزایش پتانسیل اسمزی در محیط‌های کشت شده است، این امر در مورد محیط کشت ۸ مشهودتر است. در محیط فوق کالوس‌ها و کالوس‌های جنین‌زا بدون سوختگی ترد، شفاف، گیاهچه‌های باززاشده شاداب‌تر و در برگ‌های گیاهچه‌ها بیشترین رنگ‌دانه‌ها مشاهده شد. گیاهچه‌ها باززاشده حاوی بیشترین رشد طولی، حاوی بیشترین عرض و طول برگ، تعداد بالای برگ‌ها بر روی

بالا بودن مقدار آمونیوم و نیترات در محیط کشت باشد که سبب ایجاد تغییرات ناخواسته شد. با این تفسیر می‌توان گفت القای کالوس در محیط‌های ۲، ۳ و ۵ نشان‌دهنده تنوع بالا در بین محیط‌های مورد بررسی برای این صفت است، پس می‌توان نتیجه گرفت تنوع ناخواسته یا همان تنوع سوماکلونال با شدت بیشتری در این محیط‌ها رخ داد. در همین حال می‌توان گفت در محیط‌های ۶، ۷ و ۸ تنوع سوماکلونال به کمینه ممکن خود رسیده است. این امر احتمالاً به دلیل کاهش عناصر درشت مغذی به‌ویژه منابع نیترات در محیط کشت است. ضریب تغییرات فنوتیپی، نشان‌دهنده بخشی از تنوع کلی است اما ضریب تغییرات ژنوتیپی بیان‌کننده بخشی از تنوع و تغییراتی است که قابل توارث است که سبب افزایش پاسخ به گزینش می‌شود. قابل اطمینان بودن یک متغیر انتخاب شده در برنامه القای کالوس و جنین سوماتیکی به اندازه ضریب تغییرات ژنتیکی آن بستگی دارد. ضریب تغییرات ژنوتیپی نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی برای صفت بوده و هرچه تنوع در صفت بیشتر باشد انتخاب بر اساس آن‌ها منجر به پاسخ به گزینش بهتری خواهد شد (Moosavi et al., 2014). مقدار وراثت‌پذیری برای یک صفت ویژه بسته به شرایط محیطی، نوع جمعیت مورد بررسی و روش برآورد می‌تواند تغییر کند (Du et al., 2017). در این پژوهش مقدار وراثت‌پذیری به‌جز گونه *Paulownia elongata* بالاتر از ۴۱ درصد بود و بالاترین وراثت‌پذیری و سود ژنتیکی (به ترتیب ۸۹ و ۸۱/۸۹ درصد) در گونه *Paulownia shantung* در محیط‌های MS کامل مشاهده شد (جدول ۲). که نشان‌دهنده احتمال تنوع سوماکلونال بالای این صفات در محیط‌های MS کامل است. از سوی دیگر این تنوع به راحتی به گیاهچه‌های باززا شده انتقال یافته است. به‌طور کلی احتمالاً در

کاهش منبع نیتروژن و جذب بالای کربن (ساکارز) آنتی‌اکسیدانت‌ها افزایش می‌یابند، به عبارت دیگر با افزایش نسبت کربن به نیتروژن آنتی‌اکسیدانت افزایش می‌یابد. درحالی‌که در محیط‌های کشت MS کامل مقدار آنتوسیانین کمتر از محیط‌های که عناصر معدنی به‌ویژه آمونیوم کاهش پیدا کرده، است. به‌نظر می‌رسد افزایش آنتوسیانین به رشد سلول‌های اولیه جنین‌زا کمک کرده و از بین رفتن یا مهار شدن آن‌ها در یکی از مرحله‌های جنینی توسط رادیکال‌های آزاد و آنزیم پلی‌فنل اکسیداز جلوگیری کرد. مقدار بالای آنتوسیانین از تجمع رادیکال‌های آزاد جلوگیری کرده و با کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مهار رشد سلول‌ها به کمینه می‌رسد. نتایج بررسی Domínguez et al. (2008) نشان داد با افزایش آمونیوم، آنتی‌اکسیدانت‌ها کاهش پیدا می‌کنند و از سوی دیگر افزایش رادیکال‌های آزاد در شرایط افزایش مقدار یون آمونیوم انجام می‌شود. در بررسی روی سوسپانسیون سلولی گیاه *Vitis vinifera* مشخص شد یون‌های آمونیوم سبب تولید رادیکال‌های آزاد (ROS) و در نتیجه سبب اکسید شدن آنتی‌اکسیدانت‌ها می‌شود (Skopelitis et al., 2006). محیط کشت ۳ و ۵ مقدار کلروفیل a و b کمتری داشتند (شکل a ۴). یکی از دلایل این امر می‌تواند تشکیل کم رنگ‌دانه‌ها باشد. پس فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در این محیط‌ها کم بود و از سوی دیگر زوال کلروفیل انجام شد. در حالی‌که گیاهچه‌های که در محیط کشت ۸ به‌دست آمده بودند حاوی رنگ‌دانه‌های بالای بودند. شاید دلیل رنگ‌دانه‌های بالا، جذب ساکارز بیشتر نسبت به نیتروژن باشد که سبب فعالیت بالای ژن‌های آنتی‌اکسیدانتی شده باشد و آنتی‌اکسیدانت‌ها از زوال شدن کلروفیل جلوگیری کرده باشند. غلظت کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است

گیاهچه‌ها بود. پس می‌توان گفت در این پژوهش محیط‌های مورد بررسی برای صفات مورد اندازه‌گیری به‌شدت تحت تأثیر پتانسیل اسمزی بوده است و عناصر غذایی به‌ویژه منابع نیترات پتانسیل اسمزی را کنترل می‌کند. بنا به اطلاعات به‌دست آمده پژوهشگران کشت بافت و سلول گیاهی در طراحی آزمایش‌های کشت بافتی باید به مقدار عناصرهای درشت مغذی و ریز مغذی به‌ویژه منبع نیترات موجود در محیط کشت توجه بیشتری داشته باشند. در پژوهشی دریافتند که بیشترین رشد کالوس در حضور مانیتول یا سوربیتول در پتانسیل -1.290 Mpa تا -1.490 Mpa انجام می‌شود اما در صورت افزودن ساکارز یا گلوکز، بیشترین رشد کالوس در پتانسیل‌های -1.09 Mpa تا -1.290 Mpa انجام شد (George et al., 2007). بسیاری از سلول‌های کالوس، در محیط کشت استاندارد شکل غیرعادی به‌خود می‌گیرند. با کاهش دادن پتانسیل اسمزی محیط کشت، این شکل‌گیری‌های غیر عادی کمتر می‌شود و در پتانسیل -1.090 Mpa سلول‌ها کروی شکل به راحتی تشکیل شدند و مرحله جنینی به راحتی مشاهده و انجام شد (George et al., 2007). (Wan et al., 2015) نشان دادند ترکیبات آنتوسیانین و مقدار بیان ژن‌های آن‌ها در برگ‌ها و کالوس ارقام گیاه خرچنگ *Malus sp* زمانی که نسبت کربن به نیتروژن افزایش یافت، افزایش چشم‌گیری داشت. در این بررسی محیط‌هایی که مقدار بالایی از آنتوسیانین را به‌خود اختصاص دادند حاوی کالوس‌ها و جنین‌های زرد و سفید شیری و باززایی سالمی بودند. در این محیط‌ها کالوس و جنین‌ها بدون سوختگی و قهوه‌ای شدن به رشد خود ادامه می‌دادند (شکل a-e ۶). افزایش آنتی‌اکسیدانت در این محیط‌های کشت می‌تواند به دلیل عدم وجود سمیت آمونیوم در محیط کشت باشد. با

عناصر درشت و ریزمغذی به‌ویژه منابع نیترات محیط کشت توجه ویژه‌ای داشته باشند. اسناد علمی زیادی نشان داده است که برای باززایی و ریزازدیادی پائولونیا نیاز به زمان زیادی است، یا حتی در بسیاری از پروتکل‌ها جنین سوماتیکی به‌دلیل نیترات و فنل بالای بافت درونی برگ پائولونیا مشاهده نمی‌شود. نیترات و فنل در محیط کشت درون‌شیشه‌ای مسمومیت ایجاد کرده و القای جنین‌سوماتیکی و باززایی را با مشکل مواجه می‌کند. در نتیجه، این پژوهش با کاهش منابع نیترات موفق به آرایه‌ی یک پروتکل موثر و مفید برای القای جنین سوماتیکی، باززایی و افزایش آنتوسیانین در کمترین زمان در محیط کشت شد. شایان ذکر است این بررسی برای اولین بار با استفاده از کاهش منابع نیترات مشکل بازدارندگی القای جنین سوماتیکی و باززایی گونه‌های پائولونیا در شرایط درون‌شیشه‌ای را رفع کرده است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان از حمایت مالی دانشکدگان ابوریحان دانشگاه تهران و پارک علم و فناوری دانشگاه تهران (۱۴۰۰۲۱) در انجام این پژوهش قدردانی می‌کنند.

References

- Bao, Y.; Liu, G.; Shi, X.; Xing, W.; Ning, G.; Liu, J.; Bao, M., Primary and repetitive secondary somatic embryogenesis in *Rosa hybrida* 'Samantha'. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* **2012**, *109* (3), 411-418.
- Bosak, H.; Daneshvar, M.; Salehi Salmi, M.; Lotfi Jalal-Abadi, A., In vitro plant regeneration through direct organogenesis in *Cordia myxa* L. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (4), 657-672.
- Chen, A. H.; Yang, J. L.; Niu, Y. D.; Yang, C. P.; Liu, G. F.; Yu, C. Y.; Li, C. H., High-frequency somatic embryogenesis from germinated zygotic embryos of *Schisandra chinensis* and evaluation of the effects of medium strength, sucrose, GA3, and BA on

(Jiang and Huang, 2001). امکان دارد زوال کلروفیل در محیط کشت ۳ و ۵ به‌دلیل فعالیت رادیکال‌های آزاد باشد.

نتیجه‌گیری

یکی از موارد تأثیر گذار در القای جنین سوماتیکی و باززایی در کشت بافت، تنظیم کننده‌های رشد و مواد غذایی موجود در محیط کشت است. این پژوهش نشان داد MS کامل اثر زیادی روی پتانسیل اسمزی محیط کشت ندارد. در این محیط‌های کشت، القای کالوس، القای جنین‌سوماتیکی و باززایی کاهش یافت. همچنین در این محیط‌های کشت تنوع سوماکلونال افزایش یافت و بیشتر کالوس‌های القایافته و جنین‌های سوماتیکی از بین رفتند. در همین حال، در محیط‌هایی که عناصر معدنی به‌ویژه آمونیوم کاهش پیدا کرده است مقدار پتانسیل اسمزی محیط کشت افزایش یافته است اما درصد القای کالوس، جنین‌سوماتیکی، باززایی، محتوای کلروفیل، آنتوسیانین و سرعت بالای القای کالوس در این محیط‌های کشت افزایش یافت. از سوی دیگر تنوع سوماکلونال به‌شدت کاهش یافته است. بنابراین ضروری است پژوهشگران برای اقدام به ریزازدیادی گونه‌های پائولونیا به کاهش

somatic embryo development. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* **2010**, *102* (3), 357-364.

- Clapa, D.; Fira, A.; Simu, M.; Vasu, L. B.; Buduroi, D., Improved in vitro propagation of *Paulownia elongata*, *P. fortunei* and its interspecific hybrid *P. elongata* x *P. fortunei*. *Bulletin UASVM Horticulture* **2014**, *71* (1), 6-14.

de Paiva Neto, V. B.; Otoni, W. C., Carbon sources and their osmotic potential in plant tissue culture: does it matter? *Scientia Horticulturae* **2003**, *97* (3-4), 193-202.

- Domínguez-Valdivia, M. D.; Aparicio-Tejo, P. M.; Lamsfus, C.; Cruz, C.; Martins-Loução, M. A.; Moran, J. F., Nitrogen nutrition and antioxidant metabolism in ammonium-tolerant and-sensitive plants. *Physiologia Plantarum* **2008**, *132* (3), 359-369.

- Du, Y.-p.; Bi, Y.; Zhang, M.-f.; Yang, F.-p.; Jia, G.-x.; Zhang, X.-h., Genome size diversity in *Lilium* (Liliaceae) is correlated with karyotype and environmental traits. *Frontiers in plant science* **2017**, *8*, 1303.
- Dumani, Y.; Mortazavian, S. M. M.; Izadi-Darbandi, A.; Ramshini, H.; Bahmankar, M., The Study of effective factors in callus induction, somatic vegetative and regeneration in *Paulownia* ShanTong. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, *6* (2), 347-366.
- George, E. F.; Hall, M. A.; De Klerk, G. J., Plant propagation by tissue culture 3rd Edition. The Background. Exegetic Basingstone: 2007.
- Jain, S. M.; Gupta, P. K., *Step wise protocols for somatic embryogenesis of important woody plants*. Springer: 2018.
- Jiang, Y.; Huang, B., Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop science* **2001**, *41* (2), 436-442.
- Leva, A.; Petruccelli, R.; Rinaldi, L., Somaclonal variation in tissue culture: a case study with olive. *Recent advances in plant in vitro culture* **2012**, *7*, 123-150.
- Lichtenthaler, H. K., [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*, Elsevier: 1987; Vol. 148, pp 350-382.
- Moosavi, S.; Jalalifar, S.; Abdollahi, M. R.; Chaichi, M., Evaluation of diversity and heritability of some morphological traits in bread wheat under stress and normal conditions. *Daneshe Zeraat* **2014**, *5* (9), 37-54.
- Ramarosandratana, A.; Harvengt, L.; Bouvet, A.; Calvayrac, R.; Pâques, M., Effects of carbohydrate source, polyethylene glycol and gellan gum concentration on embryonal-suspensor mass (ESM) proliferation and maturation of maritime pine somatic embryos. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* **2001**, *37* (1), 29-34.
- Romani, F., Origin of TAA genes in charophytes: new insights into the controversy over the origin of auxin biosynthesis. *Frontiers in Plant Science* **2017**, *8*, 1616.
- Shani, E.; Ben-Gera, H.; Shleizer-Burko, S.; Burko, Y.; Weiss, D.; Ori, N., Cytokinin regulates compound leaf development in tomato. *The Plant Cell* **2010**, *22* (10), 3206-3217.
- Shi, X.; Dai, X.; Liu, G.; Bao, M., Enhancement of somatic embryogenesis in camphor tree (*Cinnamomum camphora* L.): osmotic stress and other factors affecting somatic embryo formation on hormone-free medium. *Trees* **2009**, *23* (5), 1033-1042.
- Skalák, J.; Vercruyssen, L.; Claeys, H.; Hradilová, J.; Černý, M.; Novák, O.; Plačková, L.; Saiz-Fernández, I.; Skaláková, P.; Coppens, F., Multifaceted activity of cytokinin in leaf development shapes its size and structure in *Arabidopsis*. *The Plant Journal* **2019**, *97* (5), 805-824.
- Skopelitis, D. S.; Paranychianakis, N. V.; Paschalidis, K. A.; Pliakonis, E. D.; Delis, I. D.; Yakoumakis, D. I.; Kouvarakis, A.; Papadakis, A. K.; Stephanou, E. G.; Roubelakis-Angelakis, K. A., Abiotic stress generates ROS that signal expression of anionic glutamate dehydrogenases to form glutamate for proline synthesis in tobacco and grapevine. *The Plant Cell* **2006**, *18* (10), 2767-2781.
- Wagner, G. J., Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant physiology* **1979**, *64* (1), 88-93.
- Wan, H.; Zhang, J.; Song, T.; Tian, J.; Yao, Y., Promotion of flavonoid biosynthesis in leaves and calli of ornamental crabapple (*Malus* sp.) by high carbon to nitrogen ratios. *Frontiers in plant science* **2015**, *6*, 673.
- Woods, V., *Paulownia as a novel biomass crop for Northern Ireland?: a review of current knowledge*. Agri-Food and Biosciences Institute, Global Research Unit: 2008.
- Yadav, N. K.; Vaidya, B. N.; Henderson, K.; Lee, J. F.; Stewart, W. M.; Dhekney, S. A.; Joshee, N., A review of *Paulownia* biotechnology: a short rotation, fast growing multipurpose bioenergy tree. *American Journal of Plant Sciences* **2013**, *4* (11), 2070.
- Zuazo, V. H. D.; Torres, F. P.; Pleguezuelo, C. R. R., Biomass yield potential of paulownia trees in a semi-arid Mediterranean environment (S Spain). *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* **2013**, *3* (4), 789-793.

Interaction of nutrients, pH and osmotic potential of culture medium on calli induction and embryogenesis of Paulownia tree in vitro

Y. Dumani¹, S. M. M. Mortazavian^{*2}, A. Izadi Darbandi³ and H. Ramshini⁴

1- M.Sc. of Genetics & Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, I. R. Iran. (yassin.dumani@ut.ac.ir)

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Aburaihan, University of Tehran, I. R. Iran. (mortazavian@ut.ac.ir).

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Aburaihan, University of Tehran, I. R. Iran. (aizady@ut.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Aburaihan, University of Tehran, I. R. Iran. (ramshini_h@ut.ac.ir)

Received: 02.09.2021 Accepted: 08.12.2021

Abstract

Paulownia is a fast-growing, industrial and ornamental tree with medicinal properties. The present study was performed to investigate the osmotic potential of MS basal culture medium under the effect of macronutrients and micronutrients. Also, the effect of osmotic potential on callus induction, somatic embryo, regeneration, antioxidant activity and somaclonal variation were investigated. The present experiment was carried out factorial in a completely randomized design with two factors, explants (leaves and petioles) and eight types of culture media containing different combinations of culture medium elements with different combinations of plant growth regulators (PGR). The results showed that the highest level of callus induction, somatic embryogenesis and regeneration were observed in media with one-half and one-quarter times the macronutrients of MS culture medium. Anthocyanin activity, chlorophyll content, embryo number and osmotic potential increased with decreasing macronutrients, especially nitrate sources in culture medium. However, callus growth rate and somaclonal variation decreased. In culture medium, calluses and embryogenic calluses without burns, transparent, regenerated seedlings were more vibrant and the most pigments were observed in the leaves of seedlings. In complete MS media, callus induction, somatic embryo, osmotic potential, anthocyanin, chlorophyll decreased. While callus growth rate and somaclonal variation increased.

Keywords: Anthocyanin, Callus induction, Somatic embryo, Somaclonal variation, Osmotic potential.

* Corresponding author

Tel: +989126788738

بررسی مشخصه‌های کمی و کیفی درختان و حاصل‌خیزی خاک در توده‌های خالص و آمیخته راش و ممرز

آتنا کیان‌مهر^{۱*}، محمد حجتی^۲ و محمدباقر محمودی^۳

- ۱- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (atena.kianmehr@yahoo.com)
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (s.hojati@sanru.ac.ir)
۳- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (mahmoodi2010.m@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶

چکیده

این پژوهش به بررسی برخی از مشخصه‌های خاکی و همچنین ویژگی‌های کمی و کیفی درختان در سه توده راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته می‌پردازد. در هر یک از توده‌ها، ۲۵ قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی به صورت منظم - تصادفی انتخاب شدند. در هر قطعه نمونه مشخصه‌های کمی و کیفی درختان ثبت شد. همچنین نمونه‌های لاشبرگ و خاک (تا عمق ۱۰ سانتی‌متر) از هر توده برداشت شد. براساس نتایج، بیشترین قطر برابر سینه (۵۴/۴۷ سانتی‌متر)، ارتفاع کل (۲۲/۳۱ متر)، سطح مقطع در هکتار (۸۲/۰۳ مترمربع) و حجم در هکتار (۹۹۱/۴۳ مترمکعب) و کمترین تعداد در هکتار (۳۱۴ اصله در هکتار در توده راش خالص مشاهده شد. بیشترین مقادیر کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در توده راش خالص به ترتیب ۳۳/۱۶ درصد و ۱۳/۵۲ بود. بیشترین مقدار نیتروژن لاشبرگ نیز به دو توده ممرز خالص (۳/۲۲ درصد) و راش-ممرز آمیخته (۳/۰۶ درصد) اختصاص داشت. از نظر مشخصه‌های خاک، توده ممرز خالص بیشترین مقادیر واکنش خاک (۷/۰۹)، نیتروژن (۰/۳۳ درصد) و ترسیب نیتروژن خاک (۵/۴۹ تن در هکتار) را نسبت به دو توده دیگر نشان داد. بیشترین مقادیر کربن (۲/۶۳ درصد)، نسبت کربن به نیتروژن (۱۰/۲۷) و ترسیب کربن خاک (۷۷/۱۶ تن در هکتار) نیز در توده راش خالص مشاهده شد. برآیند نتایج نشان داد توده راش خالص از نظر مشخصه‌های کمی و کیفی و توده ممرز خالص از نظر مشخصه‌های حاصل‌خیزی خاک در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: تقارن تاجی، ترسیب کربن خاک، جنگل هیرکانی، مشخصه‌های لاشبرگ، نسبت کربن به نیتروژن.

مقدمه

(al., 2004). این درحالی است که تغییر در ویژگی‌های شیمیایی خاک، مانند غلظت کربن، نیتروژن و واکنش خاک ممکن است موجب تغییرات شگرفی در رشد و عملکرد گیاه شود (Hobbie et al., 2000). در این ارتباط، مشخصه‌های کیفی لاشبرگ، به‌عنوان منبع اصلی فرآیندهای مختلف مرتبط با خاک به‌ویژه چرخه‌های کربن و نیتروژن و تأثیرش در تغذیه و عملکرد گیاه در تیپ‌های مختلف درختی، دارای اهمیت است. در واقع مشخصه‌های مختلف خاک تحت تأثیر پوشش گیاهی، ارتفاع از سطح دریا، عوامل انسانی، میکروارگاناسم‌ها، اقلیم و شرایط توپوگرافی در زمان و مکان تغییر می‌کند و تغییرات حاصله بر روی بسیاری از ویژگی‌های کمی درختان مانند قطر و ارتفاع درختان، تعداد در هکتار، رویه زمینی، حجم در هکتار تأثیرگذار هستند (Mehdifar et al., 2015). در همین رابطه (Hassanzad Navroodi et al., 2016) بررسی خود بیان کردند که مشخصه‌های کمی و کیفی گونه‌ها مانند قطر برابر سینه، ارتفاع کل، تعداد در هکتار، رویه زمینی، حجم در هکتار، تقارن تاج و درجه کیفی درخت در رویشگاه‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری هستند. رویشگاه‌های مختلف دارای شرایط محیطی و خاک متفاوت هستند به‌طوری که (Mehdifar et al., 2015) در بررسی خود نتیجه گرفتند که افزایش مشخصه‌های خاک مانند محتوای رطوبتی خاک، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب شرایط مساعدتری برای رشد و افزایش مشخصه‌های کمی (قطر برابر سینه، ارتفاع کل و تعداد در هکتار) به‌همراه دارد. در پژوهشی (Kianmehr et al., 2019) به بررسی لاشبرگ در توده‌های مختلف خالص و آمیخته راش و ممرز پرداختند و نتایج آن‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین توده‌های مختلف بود، به‌طوری که توده ممرز خالص مشخصه‌های لاشبرگی

جنگل‌ها جزء مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی هستند که نقش عمده‌ای در جریان انرژی، ماده و تبدیل این دو، بین زمین و اتمسفر بازی می‌کنند. جنگل‌های ناحیه رویشی خزری که یکی از بازمانده‌های جنگل‌های معتدله در دنیا به‌شمار می‌رود، دارای تنوع توپوگرافی، اقلیمی و پوشش گیاهی منحصر به فردی است و از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های ژنتیکی زیست‌کره یاد می‌شود. امروزه جنگل‌های این نواحی به‌دلایل مختلفی اعم از قطع بی‌رویه درختان، چرای دام، انباشت زباله، نبود پژوهش‌های آمایشی و همچنین کم‌توجهی به گونه‌های زیراشکوب جنگل خسارات شدیدی بر پیکره این اکوسیستم وارد شده است (Parad et al., 2018). بنابراین در چنین شرایطی، مدیریت این منابع باارزش به چالش بزرگی بین طراحان، نهادهای سیاسی و مدیران بخش جنگل برای کنترل روند کاهش این منابع بدل شده است. در بعد اکولوژیکی، گونه‌های درختی اثرهای متفاوتی بر مشخصه‌های مختلف خاک در اکوسیستم‌ها می‌گذارند (Eshaghi Rad, 2014). گونه‌های درختی می‌توانند از طریق سازوکارهای مختلف، خواص شیمیایی خاک را تغییر دهند (Hagen-Thorn et al., 2004). در توده‌های مختلف درختی، تفاوت در کیفیت لاشبرگ و وضعیت مواد غذایی، عملکرد ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی، ساختار برگ و تاج درخت، میکروکلیمای زیر تاج و در آخر جوامع زیستی سبب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی لایه سطحی خاک می‌شود (Hagen-Thorn et al., 2004). اولین نشانه تأثیر گونه‌های مختلف درختی بر مشخصه‌های خاک، تغییر در ویژگی‌های شیمیایی لاشبرگ و لاشریزه‌های کف جنگل است اما تغییر در مشخصه‌های لایه معدنی خاک به‌مرور زمان اتفاق می‌افتد (Hagen-Thorn et

بررسی دارای شیب متعادل و به‌نسبت یکنواختی است (هشت تا ۱۲ درصد) که عمدتاً در جهت شمالی-جنوبی واقع شده است. متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین باران سالیانه ۹۸۳/۸ میلی‌متر است که نشان‌دهنده اقلیم معتدل مرطوب منطقه است. بیشترین و کمترین میزان بارندگی به‌ترتیب مربوط به ماه‌های آبان (۱۱۹/۸ میلی‌متر) و تیر (۳۶/۱ میلی‌متر) است. متوسط درجه حرارت در گرم‌ترین ماه سال مربوط به مرداد ماه با درجه حرارت ۲۶/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط سردترین ماه سال مربوط به بهمن ماه حدود ۷/۵ درجه سانتی‌گراد است و فصل خشک در منطقه نیز اغلب از اواسط خرداد تا اواخر مرداد ماه پدید می‌آید. به‌طور کلی منطقه مورد بررسی دارای چهار تیپ متمایز و تفکیک شده شامل خاک‌های تکامل نیافته راندزین تا راندزین شسته‌شده، قهوه‌ای جنگلی با pH قلیایی، قهوه‌ای شسته‌شده با افق کلسیک و قهوه‌ای شسته‌شده با پس‌دوگلی است. همچنین، عمق خاک منطقه اغلب عمیق تا نیمه‌عمیق است که عمدتاً همراه با سنگ‌های ریز و درشت مادری است. بافت خاک در کلیه مناطق مورد بررسی اغلب به‌نسبت سنگین (رسی لومی) تا سنگین (رسی) بوده که دارای نفوذپذیری آب متوسط تا ضعیف است.

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش ابتدا در اواخر شهریور سال ۱۳۹۵، سه توده شامل راش خالص، ممرز خالص و آمیخته راش-ممرز انتخاب شدند. سپس در هر یک از توده‌های مذکور تعداد ۲۵ قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی (۲۰ متر × ۲۰ متر) به صورت تصادفی-منظم انتخاب شد. در هر یک از قطعات نمونه مشخصه‌های کمی شامل تعداد درختان، قطر برابرسینه (قطر در ارتفاع ۱/۳۰ متر) و ارتفاع درخت با استفاده از نوار قطرسنج

بالتری را نسبت به دو توده دیگر نشان داد. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که در اکوسیستم جنگل بخش‌های مختلف بر هم تأثیرگذار است و بایستی همه بخش‌ها در پژوهش‌ها مورد توجه قرار گیرند. به‌طور کلی پژوهش‌های زیادی به بررسی تأثیر تیپ‌های جنگلی و گونه‌های مختلف بر مشخصه‌های مختلف خاک پرداخته‌اند. با این حال بیشتر این پژوهش‌های انجام شده تنها بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأکید داشتند. این درحالی است که بررسی مشخصه‌های خاک بدون در نظر گرفتن مشخصه‌های کمی و کیفی گونه‌ها در توده‌های مختلف خالص و یا آمیخته، ناقص خواهد بود و درک صحیحی از توده را ارائه نمی‌دهد. بنابراین ضرورت دارد هم‌زمان با بررسی مشخصه‌های خاک، ویژگی‌های کمی و کیفی توده مورد بررسی قرار گیرد، زیرا هم از نظر اکولوژیکی و هم از نظر تولیدی ویژگی‌های کمی و کیفی توده از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. به‌همین منظور بررسی حاضر به بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی درختان، مشخصه‌های لاشبرگ و برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های خالص و آمیخته گونه‌های راش و ممرز در جنگل‌های هیرکانی می‌پردازد تا به مدیریت صحیحی و همه‌جانبه این جنگل‌ها کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش در بخشی از پارسل‌های نه، ۱۲ و ۲۲ از سری یک واقع در دارابکلای ساری استان مازندران انجام شده است. عرض جغرافیایی منطقه مورد بررسی ۳۶°۲۳'۲۹" تا ۳۶°۳۳'۳۸" شمالی و طول جغرافیایی ۵۲°۲۰'۳۱" تا ۵۲°۳۱'۴۷" شرقی و در دامنه ارتفاعی ۱۶۰ تا ۷۱۰ متر از سطح دریا است. منطقه مورد

برای بررسی و مقایسه ویژگی‌های کمی توده، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین مشخصه‌های شیمیایی برگ در توده‌های مورد بررسی، ابتدا نرمالیت و همگنی واریانس‌ها بررسی شد و سپس از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One way ANOVA) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. همچنین مشخصه‌های کمی توده‌ها با استفاده از آزمون کروسکال-والیس مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام شد.

نتایج

مشخصه‌های رویشی توده‌ها

مشخصه‌های کمی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار مشخصه‌های کمی درختان در بین توده‌های مختلف مورد بررسی است. توده راش خالص بیشترین مقادیر ارتفاع کل (۲۳/۳۱ متر)، قطر برابر سینه (۵۷/۴۷ سانتی‌متر)، سطح مقطع در هکتار (۸۲/۰۳ مترمربع) و حجم در هکتار (۹۹۱/۴۳ مترمکعب) را نشان داد (جدول ۱). تعداد در هکتار توده‌های ممرز خالص، آمیخته راش-ممرز، راش خالص به ترتیب برابر با ۴۲۱، ۳۷۴ و ۳۱۴ اصله در هکتار بود.

نمودار رگرسیونی رابطه قطر-ضریب قدکشیدگی نشان می‌دهد که کلیه درختان در توده‌های راش خالص دارای ضریب قدکشیدگی پایین‌تر از ۸۰ هستند حال آنکه در توده‌های خالص ممرز و آمیخته تقریباً قطرهای کمتر از ۳۰ سانتی‌متر دارای ضریب قدکشیدگی بیشتر از ۸۰ هستند (شکل ۱).

(سانتی‌متر) و شیب‌سنج سونتو اندازه‌گیری شد. همچنین مشخصه‌های کیفی درختان مانند تقارن تاجی، چندشاخگی تنه اصلی درخت، شاقولی بودن، انحنا در تنه اصلی، شاخه‌های فرعی بر روی تنه اصلی و وضعیت الیاف تنه درختان نیز با استفاده از روش Rafiei Jahed et al. (2017) ثبت شد. در ادامه تعداد در هکتار، سطح مقطع در هکتار و حجم در هکتار در هر یک از توده‌های مورد بررسی محاسبه شد.

نمونه‌برداری از خاک و لاشبرگ در پنج قطعه-نمونه انجام شد به طوری که با استفاده از اوگر از مرکز و چهار ضلع هر قطعه‌نمونه و از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و با هم ادغام شدند. همچنین نمونه‌های لاشبرگ از بخش مرکزی هر قطعه‌نمونه (در سطح ۵۰×۵۰ سانتی‌متری) برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و الک (دو میلی‌متری) شد. نمونه‌های لاشبرگ نیز در دمای ۷۰ درجه در آون خشک شد.

کربن آلی لاشبرگ به روش احتراق و نیتروژن لاشبرگ به روش معدنی‌سازی نمونه‌ها و سپس با عمل تقطیر در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه، واکنش خاک (pH) به روش پتانسیومتری و به وسیله دستگاه pH متر با به‌کارگیری مخلوط ۲/۵: ۱ خاک و آب مقطر، نیتروژن کل و کربن آلی به ترتیب به روش کجلدال و والکی-بلاک اندازه‌گیری و نسبت کربن به نیتروژن (C:N) محاسبه شد. اندازه‌گیری فسفر قابل جذب نیز به روش اولسن انجام شد. ترسیب کربن و نیتروژن خاک نیز با به‌کارگیری جرم مخصوص ظاهری خاک، عمق و محتوای کربن و نیتروژن خاک محاسبه شد (Kooch et al., 2020).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

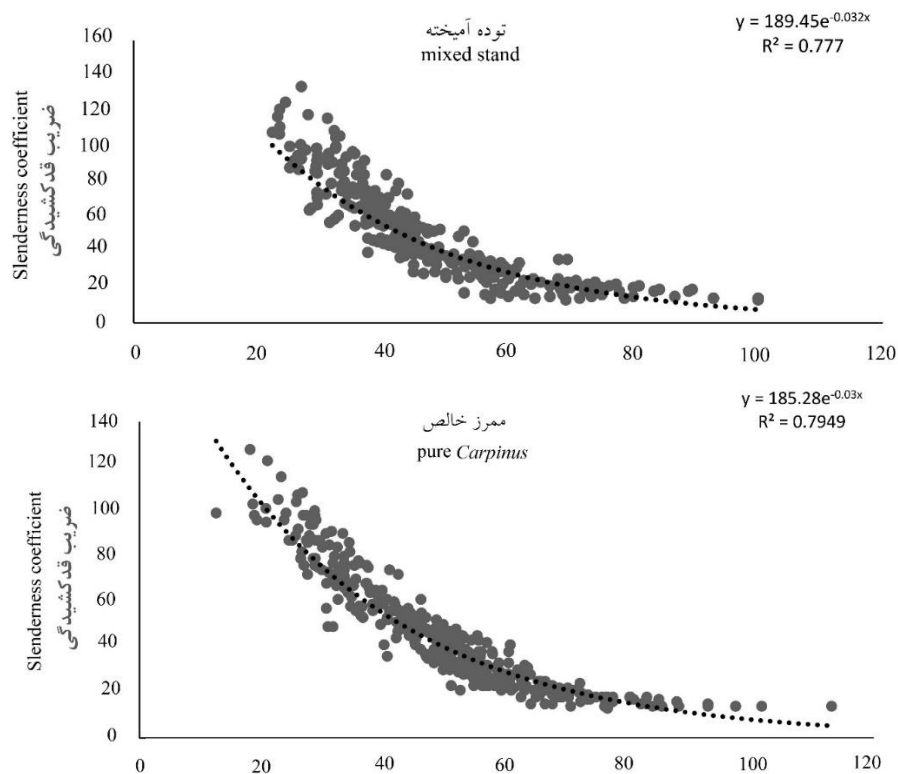
جدول ۱- میانگین \pm (اشتباه معیار) مشخصه‌های کمی درختان در ارتباط با توده‌های مورد بررسی

Table 1. Mean (\pm standard error) of quantitative characteristics in related with studied stands

حجم در هکتار (متر مکعب) Volume in hectare (m ³)	سطح مقطع در هکتار (متر مربع) Basal area per hectare (m ³)	تعداد در هکتار Number per hectare	ضریب قدکشیدگی Slenderness coefficient	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height (cm)	ارتفاع کل درخت (متر) Total height tree (m)	تپ‌ها / مشخصه‌ها Type/Characteristics
991.43 \pm 44.93a	82.03 \pm 3.22a	314 \pm 7.85c	46.91 \pm 0.82b	57.47 \pm 1.72a	23.31 \pm 0.41a	راش خالص Pure <i>Fagus</i>
677.49 \pm 33.13b	66.28 \pm 3.72b	421 \pm 16.95a	51.51 \pm 0.84a	43.67 \pm 1.12b	19.54 \pm 0.31b	ممرز خالص Pure <i>Carpinus</i>
715.60 \pm 23.14b	67.83 \pm 2.31b	374 \pm 12.45b	50.13 \pm 0.53a	47.19 \pm 1.43b	19.91 \pm 0.32b	راش-ممرز آمیخته Mixed <i>Fagus- Carpinus</i>
0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	مقدار معنی‌داری Significant value

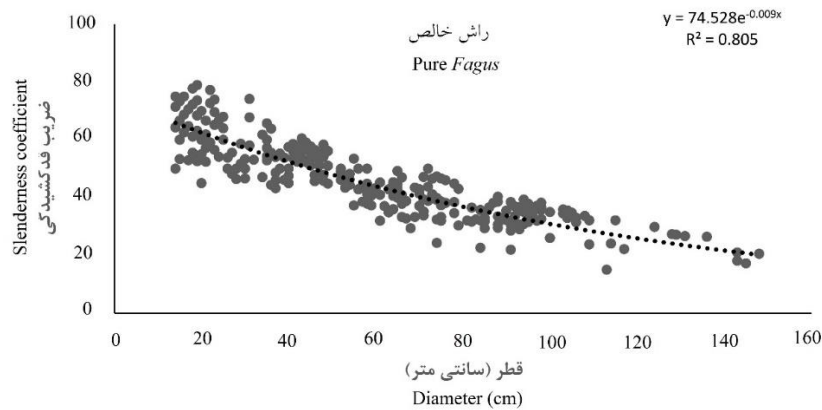
* نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱ بین توده‌های مورد بررسی است.

** indicate significant difference at 0.001 levels between studied stands.



شکل ۱- رابطه قطر در ارتفاع برابر سینه با مقدار ضریب قدکشیدگی در توده‌های مورد بررسی

Figure 1. Relationship between diameter at breast height and Slenderness coefficient in studied stands



ادامه شکل ۱.

Continued figure 1.

اصلی، شاخه فرعی در تنه اصلی و وضعیت یاف تنه به توده راش خالص و کمترین مقدار آن‌ها به توده ممرز خالص اختصاص داشت (شکل ۲). به طور کلی در توده راش خالص بالاترین درصد درختان در گروه یک دسته‌بندی شدند که نسبت به دو توده دیگر کیفیت بهتری را نشان می‌دهد.

مشخصه‌های کیفی

نتایج آزمون کروسکال والیس در ارتباط با بررسی مشخصه‌های کیفی درختان در توده‌های مختلف نشان داد که کلیه مشخصه‌های مورد بررسی در بین توده‌های مورد بررسی دارای اختلاف آماری معنی‌داری است (جدول ۲). نتیجه آزمون χ^2 نشان داد که بالاترین میانگین رتبه‌بندی از نظر مشخصه تقارن تاجی، چند شاخگی تنه اصلی، شاقولی بودن درخت، انحنا در تنه

جدول ۲- نتایج آزمون کروسکال والیس برای مشخصه‌های کیفی مورد بررسی

Table 2. Results of Kruskal-Wallis test for investigated qualitative characteristics

وضعیت یاف Fiber condition	شاخه‌های فرعی Sub- branches	انحنا در تنه Curvity in trunk	تنه شاقولی Trunk verticality	چند شاخگی Multi trunk	تقارن تاجی Crown symmetry	مشخصه‌ها Characteristics
41.60	78.02	13.14	16.84	24.54	17.26	۱÷
2	2	2	2	2	2	df
0.000**	0.000**	0.001**	0.000**	0.000**	0.000**	Sig..

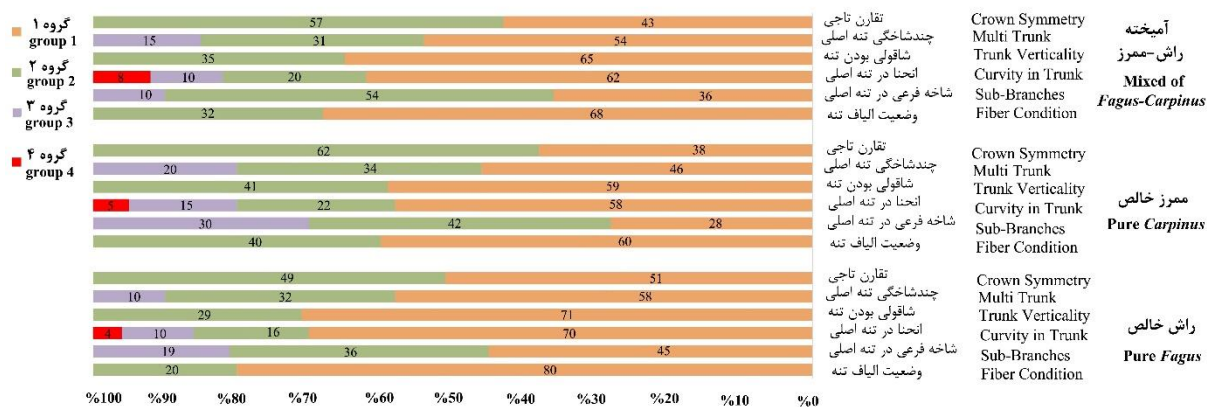
درصد مشاهده شد. همچنین بیشترین مقادیر نیتروژن لاشبرگ مربوط به توده‌های ممرز خالص، آمیخته راش-ممرز و راش خالص به ترتیب با ۳/۰۶، ۳/۲۲ و ۲/۴۶ درصد بود (جدول ۴). براساس نتایج به دست آمده، مشخصه‌های خاک محتوی رطوبت خاک، واکنش خاک، کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن، فسفر قابل جذب، ترسیب کربن و ترسیب نیتروژن در

مشخصه‌های لاشبرگ و خاک

نتایج تجزیه واریانس یک طرفه نشان داد مقادیر کربن، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ بین توده‌های مختلف تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۳). بیشترین مقدار کربن در توده راش خالص با ۳۳/۱۶ درصد و کمترین مقدار کربن در توده‌های آمیخته راش-ممرز و خالص ممرز به ترتیب با ۲۶/۷۶ و ۲۶/۱۴

خالص (۳/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، آمیخته راش-ممرز (۳/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ممرز خالص (۳/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. توده ممرز خالص بیشترین مقادیر واکنش خاک (۷/۰۹)، نیتروژن (۰/۳۳ درصد) و ترسیب نیتروژن خاک (۵/۴۹ تن در هکتار) را نسبت به دو توده دیگر نشان داد. با این حال بیشترین مقادیر کربن (۲/۶۳ درصد)، نسبت کربن به نیتروژن (۱۰/۲۷) و ترسیب کربن خاک (۷۷/۱۶ تن در هکتار) در توده راش خالص مشاهده شد (جدول ۴).

بین سه توده مورد بررسی دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۳). با این حال جرم مخصوص ظاهری بین توده‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود و مقدار آن در توده‌های راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته به ترتیب ۱/۶۵، ۱/۶۴ و ۱/۶۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. بیشترین مقدار رطوبت خاک در توده ممرز خالص با ۳۴/۹۰ درصد و کمترین آن در توده آمیخته راش-ممرز با ۳۲/۹۲ درصد بود (جدول ۴). بیشترین مقدار فسفر قابل جذب به ترتیب در توده‌های راش



شکل ۲- درصد درختان در توده‌های جنگلی مورد بررسی از نظر مشخصه‌های کیفی

Figure 2. Percentage of trees in forest stands in terms of qualitative characteristics

خاک، کربن خاک، کربن لاشبرگ، نسبت کربن به نیتروژن خاک و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در ارتباط با توده راش خالص هستند درحالی‌که دیگر مشخصه‌های مورد بررسی ارتباط بیشتری را با توده‌های ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته نشان دادند.

نمودار رسته‌بندی قطعات نمونه برداشت‌شده در ۳ توده خالص و آمیخته راش و ممرز در شکل ۳ نشان داد که ۳ توده مورد بررسی به‌طور کامل از یکدیگر جدا شدند. نتایج واریانس تغییرات نشان داده که ۵۶/۶۶ درصد تغییرات در ارتباط با محور اول بوده است (جدول ۵). براساس نتایج، مشخصه‌های ترسیب کربن

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مشخصه‌های مختلف لاشبرگ و خاک در توده‌های مختلف جنگل طبیعی

Table 3. Results of one-way ANOVA for different litter and soil characteristics in different natural stands

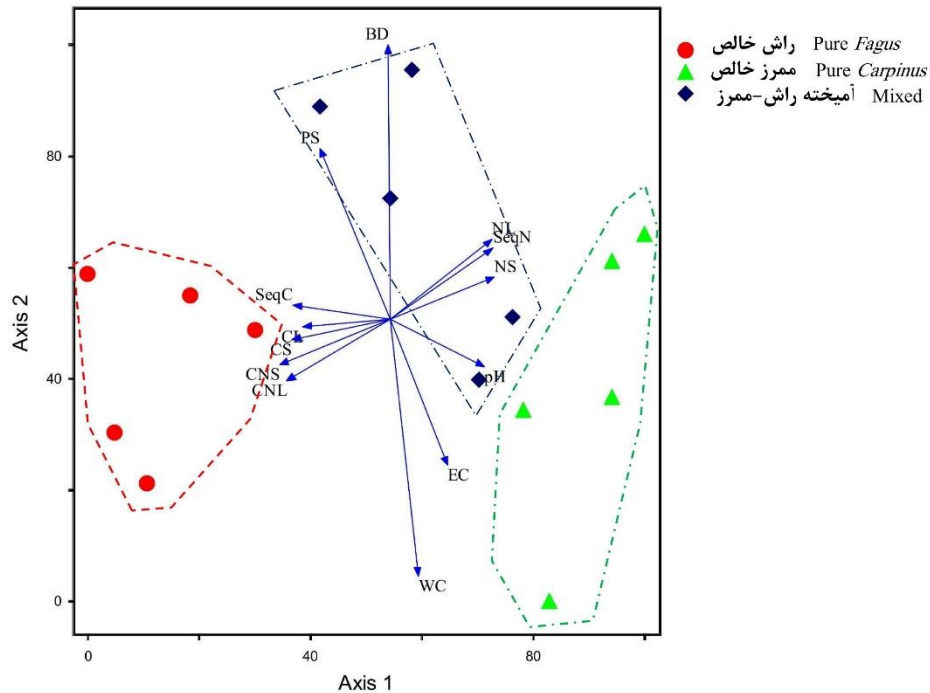
Sig.	F	میانگین مربعات Mean square	df	مشخصه‌های مورد بررسی Characteristics
0.001**	14.90	75.52	2	کربن لاشبرگ C of Litter
0.000**	20.18	0.81	2	نیترژن لاشبرگ N of Litter
0.000**	54.75	43.29	2	نسبت کربن به نیترژن لاشبرگ C/N of Litter
0.285 ^{ns}	1.39	0.001	2	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g/cm ³)
0.000**	30.59	0.364	2	واکنش خاک pH
0.149 ^{ns}	2.23	4/91	2	محتوی رطوبت خاک (درصد) Soil water content (%)
0.007**	7.66	0.260	2	کربن آلی خاک (درصد) Organic carbon (%)
0.001**	13.02	0.007	2	نیترژن کل خاک (درصد) Total soil nitrogen (%)
0.000**	15.32	17.053	2	نسبت کربن به نیترژن C/N ratio
0.164 ^{ns}	2.11	0.206	2	گرم بر کیلوگرم (قابل جذب) میلی فسفر P available (mg/kg)
0.010**	6.88	218.017	2	ترسیب کربن خاک (تن در هکتار) Soil C sequestration (t/ha)
0.002**	11.72	1.943	2	ترسیب نیترژن خاک (تن در هکتار) Soil N sequestration (t/ha)

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ^{ns} نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.* and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels and ^{ns} shows no significant difference.

جدول ۴- میانگین \pm (اشتباه معیار) مشخصه‌های مختلف لاشبرگ و خاک در توده‌های مختلف جنگل طبیعی

Table 4. Mean (\pm standard error) of litter and soil characteristics in different natural stands

آمیخته Mixed	ممرز خالص Pure <i>Carpinus</i>	راش خالص Pure <i>Fagus</i>	صفات Characteristics
26.760 \pm 0.541b	26.140 \pm 0.721b	33.160 \pm 0.821a	کربن لاشبرگ C of Litter
3.064 \pm 0.055a	3.220 \pm 0.057a	2.460 \pm 0.068b	نیترژن لاشبرگ N of Litter
8.736 \pm 0.204b	8.170 \pm 0.325b	13.526 \pm 0.425a	نسبت کربن به نیترژن لاشبرگ C/N of Litter
1.666 \pm 0.030a	1.644 \pm 0.010a	1.646 \pm 0.018a	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g/cm ³)
6.752 \pm 0.030b	7.096 \pm 0.039a	6.564 \pm 0.034c	واکنش خاک pH
32.920 \pm 0.432a	34.900 \pm 0.439a	34.000 \pm 0.577a	محتوی رطوبت خاک (درصد) Soil water content (%)
2.294 \pm 0.028b	2.198 \pm 0.027b	2.636 \pm 0.089a	کربن آلی خاک (درصد) Organic carbon (%)
0.292 \pm 0.007b	0.334 \pm 0.009a	0.258 \pm 0.009c	نیترژن کل خاک (درصد) Total soil nitrogen (%)
7.897 \pm 0.245b	6.634 \pm 0.254b	10.272 \pm 0.417a	نسبت کربن به نیترژن C/N ratio
3.640 \pm 0.141a	3.500 \pm 0.069a	3.900 \pm 0.082a	گرم بر کیلوگرم (قابل جذب (میلی فسفر P available (mg/kg)
68.057 \pm 1.285b	64.316 \pm 0.856b	77.168 \pm 2.478a	ترسیب کربن خاک (تن در هکتار) Soil C sequestration (t/ha)
4.861 \pm 0.112b	5.491 \pm 0.149a	4.243 \pm 0.141c	ترسیب نیترژن خاک (تن در هکتار) Soil N sequestration (t/ha)



شکل ۳- نمودار رسته‌بندی در توده‌های مورد بررسی (BD: جرم مخصوص ظاهری، PS: فسفر خاک، SeqC: ترسیب کربن خاک، CL: کربن لاشبرگ، CS: کربن خاک، CNS: نسبت کربن به نیتروژن خاک، CNL: نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ، NL: نیتروژن لاشبرگ، SeqN: ترسیب نیتروژن خاک، NS: نیتروژن خاک، pH: واکنش خاک، EC: هدایت الکتریکی، WC: محتوی رطوبت خاک)

Figure 3. PCA in studied stands (BD: bulk density, PS: soil phosphorus, SeqC: soil carbon sequestration, CL: litter carbon, CS: soil carbon, CNS: soil carbon to nitrogen ratio, CNL: litter carbon to nitrogen ratio, NL: litter nitrogen, SeqN: Soil Nitrogen Sequestration, NS: Soil Nitrogen, pH: Soil Reaction, EC: Electrical Conductivity, WC: Soil Moisture Content)

جدول ۵- مقدار واریانس تغییرات در مهم‌ترین محورها

Table 5. Extracted variance from most important axis

Broken-stick Eigenvalue	درصد واریانس تجمعی Cum.% of Var.	درصد واریانس % Of Variance	Eigenvalue	محور Axis
3.18	56.66	56.66	7.36	1
2.18	70.46	13.81	1.79	2
1.68	80.26	9.80	1.27	3
1.35	86.61	6.35	0.82	4
1.10	91.82	5.21	0.68	5

به طوری که اندازه آن‌ها با رویه زمینی، حجم و موجودی جنگل ارتباط مستقیمی دارد. در بررسی حاضر، بیشترین ارتفاع کل، قطر برابر سینه، سطح مقطع و حجم در هکتار مربوط به توده راش خالص بود و کمترین مقادیر آن نیز در دو توده ممرز خالص

بحث

قطر در ارتفاع برابر سینه در کنار ارتفاع کل درخت، از مهم‌ترین مشخصه‌های کمی درختان در اندازه‌گیری‌ها به‌شمار می‌آید که به‌عنوان یکی از معیارهای تعیین‌کننده کیفیت رویشگاه‌های جنگلی به‌حساب می‌آید

و وضعیت الیاف تنه در توده راش خالص و کمترین مقدار آن‌ها در توده ممرز خالص به ثبت رسید. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مشخصه‌های کیفی درخت را می‌توان به ژنتیک متفاوت درختان و شرایط رویشگاهی نسبت داد که تأثیر به‌سزایی در تولید و نحوه پراکنش شاخه‌های درختان دارند (Rafiei Jahed et al., 2017). مطابق با نتایج بررسی Fallahchai (2011)، علاوه بر خصوصیات ژنتیکی و شرایط رویشگاهی متفاوت در درختان راش و ممرز، عواملی مانند هرس طبیعی ضعیف‌تر، دیرزیستی پایین‌تر، ظهور آفات و امراض و همچنین ایجاد پوسیدگی در سنین پایین‌تر در گونه ممرز نیز سبب کاهش کیفیت (به نظر مشخصه‌های کیفی مورد بررسی) درختان ممرز نسبت به درختان راش می‌شود (Fallahchai, 2011).

مشخصه‌های لاشبرگ در توده‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را بین سه توده راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته نشان دادند. براساس نتایج، مقادیر کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در توده راش خالص بیشترین مقدار بود و بین دو توده ممرز خالص و آمیخته تفاوت آماری معنی‌داری یافت نشد این در حالی است که نیتروژن کل لاشبرگ در دو توده ممرز خالص و آمیخته بالاترین مقدار بود. شاخ و برگ درختان راش به‌نسبت دیگر گونه‌های پهن‌برگ هیرکانی نیازمند فرآیند تجزیه طولانی‌مدت است، وجود این خصوصیت اجتناب‌ناپذیر به‌همراه سن بالای توده‌های جنگلی میزان لاشبرگ را در زیر آشکوب افزایش می‌دهد. لایه هوموس قطور پشته‌ای مناسبی برای حفظ رطوبت بیشتر در اراضی جنگلی محسوب می‌شود، چرا که وجود خاصیت اسفنجی در زیر تاج‌پوشش بسته، ظرفیت نگهداری آب و رطوبت را به‌طور چشمگیری به نسبت مناطق بدون تاج‌پوشش

و راش-ممرز آمیخته مشاهده شد. با این وجود تعداد در هکتار توده راش خالص با ۳۱۴ اصله در هکتار دارای کمترین تراکم و توده ممرز خالص با ۴۲۱ اصله در هکتار دارای بیشترین تراکم بود. به‌طور کلی می‌توان علت بیشتر بودن قطر برابر سینه در توده راش خالص را به تراکم کمتر در این توده نسبت داد به طوری که بیشتر بودن میانگین فاصله درختان نسبت به دیگر توده‌ها و در نتیجه آن فضای بیشتر جهت دریافت نور سبب شده تا رشد قطری و ارتفاعی و به‌دنبال آن موجودی در هکتار درختان افزایش یابد (Charkazi et al., 2016). از سوی دیگر، با کاهش تراکم درختان در توده راش خالص رقابت درون گونه‌ای نیز کاهش یافته و راش بیشترین رشد را روی رشد قطری و گسترش تاج متمرکز می‌کند. در ارتباط با توده ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته نیز می‌توان عنوان کرد که کاهش فاصله درختان سبب افزایش تراکم و رقابت درون گونه‌ای این گونه شده که این امر سبب کاهش رشد قطری و به‌دنبال آن کاهش در سطح مقطع و حجم در هکتار این توده‌ها نسبت به توده راش خالص شد (Charkazi et al., 2016). نتایج این پژوهش با نتایج بررسی Sayad et al. (2006) مطابقت دارد. Mokhtari et al. (2018) بیان می‌کند که افزایش تراکم درختان در توده‌های مختلف، افزایش رقابت نوری را به‌دنبال دارد و موجب می‌شود تا رشد ارتفاعی درختان نسبت به رشد قطری افزایش بیشتری داشته باشد که این موضوع تعادل و توازن رویش قطری و ارتفاعی درختان را به‌هم می‌زند.

براساس نتایج مشخصه‌های کیفی در بررسی حاضر، بالاترین میانگین رتبه‌بندی از نظر مشخصه‌های تقارن تاجی، چند شاخگی تنه اصلی، شاقولی بودن درخت، انحنا در تنه اصلی، شاخه فرعی در تنه اصلی

Bayranvand et al. (2017) همسو است. در این پژوهش مقدار فسفر خاک تفاوت معنی داری را بین توده‌های مورد بررسی نشان نداد. فسفر یک جزء کلیدی از ترکیبات سلولی بوده و اهمیت آن در حیات گیاهی پس از نیتروژن در درجه دوم اهمیت قرار دارد. علت وجود عدم اختلاف معنی دار مقدار فسفر در توده را می‌توان با pH خاک مرتبط دانست، به طوری که مناسب‌ترین حد pH خاک برای این عنصر در دامنه ۶-۷ است که نتایج pH در این بررسی نیز همین حدود را نشان داد.

کربن آلی خاک به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر عملکرد مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نقش مهمی در حاصلخیزی، ساختار و رطوبت در دسترس خاک دارد (Cheshmberah et al., 2020). رطوبت خاک به عنوان یکی از مولفه‌های حیاتی، نقش اساسی در اکوسیستم‌های جنگلی دارد که موجب می‌شود تا سطح خاک از نظر شاخص‌های حاصلخیزی فعال‌تر عمل کند. نتایج بررسی حاضر نشان داد که مقدار درصد کربن آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن و ترسیب کربن خاک در توده راش خالص بالاترین مقدار و در توده‌های ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته کمترین بود. علت آن در گزارش Moghimian et al. (2019) بیشتر به نوع پوشش گیاهی نسبت داده شد که به دنبال آن تجمع بیشتر مواد آلی در توده راش خالص در نتیجه افزایش زی توده رو و زیرزمینی، کاهش نرخ تجزیه لاشبرگ و به دنبال آن معدنی شدن آهسته مواد آلی در واکنش خاک کمتر نسبت داده شد. Bakhshipour et al. (2012) در بررسی خود بیان کردند که حضور خشکه‌دار با درجات پوسیدگی متفاوت، مقدار کربن زیادی را در اختیار خاک قرار می‌دهد و در نتیجه سبب بالارفتن مواد آلی خاک می‌شود.

بالا خواهد برد (Shabani et al., 2010). در راستای نتایج این پژوهش، Marefat et al. (2020) نیز نشان دادند که لاشبرگ گونه‌های درختی متفاوت دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی است. همچنین نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌ها در توده ممرز خالص و آمیخته راش-ممرز در مقایسه با توده راش سریع‌تر است به طوری که غلظت پایین‌تر لیگنین و مقدار بالاتر کربوهیدرات-های محلول در لاشبرگ تولیدشده در توده ممرز خالص و راش-ممرز آمیخته است که از دلایل عمده کمتر بودن مقدار کربن لاشبرگ در این دو توده است (Hobbie et al., 2000; Habashi, 2015). مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، Kooch et al. (2020) نیز نشان دادند غلظت نیتروژن در لاشبرگ گونه ممرز نسبت به لاشبرگ راش بالاتر و مقدار غلظت کربن آن پایین‌تر است، در نتیجه سرعت تجزیه آن بالا است و نسبت C/N که معیار مناسبی برای تجزیه لاشبرگ است نیز در لاشبرگ گونه راش به دلیل بالاتر بودن کربن و پایین‌تر بودن نیتروژن، بالاتر است.

مقدار واکنش خاک در توده ممرز خالص به‌طور معنی داری بیشتر از دو توده راش خالص و آمیخته بود. دلیل افزایش آن‌ها در توده ممرز را می‌توان به غنی بودن محتوی عناصر غذایی موجود در لاشبرگ آن گونه و سرعت بالای تجزیه آن‌ها نسبت داد که بازگشت مقادیر زیاد کاتیون‌های بازی به خاک را به همراه دارد (Hagen-Thorn et al., 2004). همچنین کاهش واکنش خاک در توده راش خالص می‌تواند به دلیل تولید بیشتر هوموس مور باشد؛ به این مفهوم که، به‌واسطه تجزیه کند لاشبرگ در این توده‌ها و متعاقباً تولید اسید آلی و تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک، به تدریج خاک اسیدی می‌شود (Hagen-Thorn et al., 2004). یافته‌های حاصل از این پژوهش در مورد اسیدی شدن خاک در توده‌های راش با نتایج

پس از آن توده‌های راش-ممرز آمیخته و ممرز خالص قرار داشتند. با این حال نتایج به‌دست‌آمده در ارتباط با مشخصه‌های لاشبرگ و خاک نشان داد توده ممرز خالص نسبت به دو توده دیگر خاک حاصلخیزتری دارد. اگرچه نتایج این پژوهش مبین این موضوع است که توده‌های خالص راش و ممرز به‌ترتیب از نظر کمی و کیفی و حاصلخیزی خاک عملکرد بهتری داشته‌اند اما باید توجه داشت که توده‌های آمیخته از پایداری اکولوژیکی و تولیدی بهتری نسبت به توده‌های خالص برخوردارند و نیاز است تا با مدیریت صحیح و انجام عملیات‌های پرورشی و اصلاحی به‌موقع و منظم به بهبود مشخصه‌های کمی و کیفی درختان در این توده-ها کمک شود.

References

- Bakhshipour, R.; Ramazanpour, H.; Lashkar-e-Blooki, A., Investigation of the effect of teda and poplar plantations on some characteristics of forest soils. *Iranian Forest Journal* **2012**, 4 (4): 332-321. (In Persian)
- Bayranvand, M.; Kooch, Y.; Hosseini, S. M.; Alberti, G., Humus forms in relation to altitude and forest type in the Northern mountainous regions of Iran. *Forest ecology and management* **2017**, 385, 78-86.
- Charkazi, A.; Amiri, M.; Ravabaksh, H.; Moghadasi, D., Examination of quantitative and qualitative characteristics of *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* and *Pinus brutia* in plantation forests in the Ramian, Golestan province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2017**, 23 (4): 1-21. (In Persian)
- Cheshmberah, F.; Fathizad, H.; Parad, G.; Shojaeifar, S., Comparison of RBF and MLP neural network performance and regression analysis to estimate carbon sequestration. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2020**, 17 (9), 3891-3900.
- Eshaghi Rad, J., Variations of understory vegetation composition and diversity in pure

همچنین بیشترین درصد نیتروژن کل و ترسیب نیتروژن خاک در توده ممرز خالص و کمترین مقدار آن در توده راش خالص به ثبت رسید. همسو با نتایج این پژوهش، (Kooch and Bayranvand 2019) نیز علت افزایش نیتروژن کل و ترسیب نیتروژن خاک در توده ممرز خالص را به بالابودن محتوی نیتروژن لاشبرگ و نرخ تجزیه بالاتر آن‌ها نسبت به لاشبرگ راش نسبت دادند. کربن و نیتروژن خاک ناپایدارترین بخش‌های کربن و نیتروژن در چرخه بیوژئوشیمیایی خاک سطحی هستند و تحت تأثیر نوع پوشش گیاهی و کیفیت بستر قرار می‌گیرند. عملکرد خاک سطحی برای عنوان تأمین مواد مغذی، ذخیره‌سازی و در نهایت، افزایش رشد درختان اهمیت زیادی دارد.

درآخر، نتایج این بررسی نشان‌دهنده مشخصه-

های کمی و کیفی مطلوب‌تر در در توده راش بود و

and mixed beech stands (Case Study: Kheyrud Forest- Noshahr). *Iranian Journal of Forest* **2014**, 6 (1), 75-86. (In Persian)

Fallahchai, M. M., The Quantitative and Qualitative Study of *Alnus Subcordata*, *Acer velutinum*, *Fraxinus excelsior* Afforested Species in Syahkal Forest (Case Study in Series 1 of Toutki Forest). *Natural Ecosystems of Iran* **2011**, 1 (3), 55-63. (In Persian)

Habashi, H., Microbial respiration and microbial biomass C relationship with soil organic matter in different types of mixed beech forest. *Journal of Forest Research and Development* **2015**, 1 (2): 135-144. (In Persian)

Hagen-Thorn, A.; Callesen, I.; Armolaitis, K.; Nihlgård, B., The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest ecology and management* **2004**, 195 (3), 373-384.

Hassanzad Navroodi, I.; Zarkami, R.; Salehi, A.; Radkarimi, M., Quantitative and qualitative characteristics of trees and some site factors in natural habitats of Velvet maples (*Acer velutinum*) in Asalem. *Journal*

- of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2006**, 29 (2), 328-338. (In Persian)
- Hobbie, S. E.; Schimel, J. P.; Trumbore, S. E.; Randerson, J. R., Controls over carbon storage and turnover in high-latitude soils. *Global change biology* **2000**, 6 (S1), 196-210.
- Kianmehr, A.; Hojati, S.; Kooch, Y.; Ghasemi agh bash, F., Effect of canopy composition on litterfall rate, respiration and some Soil properties in pure and mixed stands of beech and hornbeam. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, 5 (3), 379-389. (In Persian)
- Kooch, Y.; Moghimian, N.; Alberti, G., C and N cycle under beech and hornbeam tree species in the Iranian old-growth forests. *Catena* **2020**, 187, 104406.
- Kooch, Y.; Bayranvand, M., Labile soil organic matter changes related to forest floor quality of tree species mixtures in Oriental beech forests. *Ecological Indicators* **2019**, 107, 105598.
- Marefat, S.; Eshaghi Rad, J.; Khanalizadeh, A., Effects of mixed beech and hornbeam stands on soil properties and plant species diversity indices in Hyrcanian forests of Iran. *Madera y bosques* **2020**, 26 (3), e2632015.
- Mehdifar, D.; Karamian, R.; Sagheb-Talebi, Kh.; Sepahvand, M.; Effects of some physical and chemical soil properties on quantitative characteristics of *Quercus infectoria* Oliv. at Shine Forest of Lorestan Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2015**, 23 (2), 234-245. (In Persian)
- Moghimian, N.; Hosseini, S. M.; Kooch, Y.; Darki, B. Z., Evaluating soil biochemical/microbial indices as ecological indicators of different land use/cover in northern Iran. *Acta Ecologica Sinica* **2019**, 39 (4), 328-333.
- Mokhtari, J.; Soltani, A.; Tabari Kocheksaraee, M.; Sadati, E., Quantitative and qualitative study and index choice to compare four eastern cottonwoods (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh) stands in Gilan and Mazandaran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2018**, 26 (3), 368-381. (In Persian)
- Parad, G. A.; Ghobad-Nejhad, M.; Tabari, M.; Yousefzadeh, H.; Esmailzadeh, O.; Tedersoo, L.; Buyck, B., *Cantharellus alborufescens* and *C. ferruginascens* (Cantharellaceae, Basidiomycota) new to Iran. *Cryptogamie, Mycologie* **2018**, 39 (3), 299-310.
- Rafiei Jahed, R.; Fakhari, M.; Eslamdoust, J.; Fashat, M.; Kooch, Y.; Hosseini, S., Restoration of degraded forest using native and exotic species: Investigation on soil productivity and stand quality (Case study: Chamestan-Mazandaran province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2017**, 25 (3), 483-494. (In Persian)
- Sayad, E.; Hosseini, S. M.; Mokhtari, J.; Mahdavi, R., Comparison of Growth and Qualitative Properties in Pure and Mixed Plantations of *Populus deltoides* Marsh. and *Alnus subcordata* C.A. Mey. *Pajouhesh-va-Sazandegi* **2006**, 19 (2), 2-10. (In Persian)
- Shabani, S.; Akbrinia, M.; Jalali, G.; Ali Arab, A., The effect of forest gap size on biodiversity of plant species in oak-hornbeam stands in Khanikan Chalous forest. *Iranian Journal of Biology* **2010**, 3 (4), 1-17. (In Persian)

Study of tree quantitative and qualitative characteristics and soil fertility in pure and mixed stands of beech and hornbeam

A. Kianmehr^{*1}, M. Hojati², M. B. Mahmoodi³

1- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Agriculture and Natural Resource University of Sari, Mazandaran, I. R. Iran. (atena.kianmehr@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Department of Forestry, Agriculture and Natural Resource University of Sari, Mazandaran, I. R. Iran. (s.hojati@sanru.ac.ir)

3- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Agriculture and Natural Resource University of Sari, Mazandaran, I. R. Iran. (mahmoodi2010.m@gmail.com)

Received: 04.09.2021 Accepted: 17.12.2021

Abstract

This research investigated some physical and chemical characteristics of soil as well as quantitative and qualitative characteristics of trees in three stands of pure beech, pure hornbeam and beech-hornbeam mixture. In each stand, 25 plots of 400 m² were selected by systematic-random method. In each plot, quantitative and qualitative characteristics were recorded. Also, litter and soil samples (up to 10 cm depth) were collected from each stand. According to the results, maximum DBH (54.47 cm), total height (22.31 m), basal area per hectare (82.03 m²) and volume per hectare (991.43 m³) were observed in pure beech while having the lowest number per hectare (314 tree per hectare). The highest C and C/N ratio of litter in pure beech were 33.16% and 13.52, respectively. Also, the highest quantity of N in litter was determined in two species of pure hornbeam (3.22%) and mixed beech-hornbeam (3.06%). In terms of soil characteristics, pure hornbeam stand showed the highest amounts of soil reaction (7.09), N (0.33%) and soil N sequestration (5.49 tons per hectare) compared to the other stands. However, the highest amounts of C (2.63%), C/N ratio (10.27) and soil C sequestration (77.16 t / ha) were observed in pure beech. The results showed that pure beech stand in terms of quantitative and qualitative characteristics and pure hornbeam stand in terms of soil fertility are in a more favorable condition.

Keywords: Symmetric of crown, carbon sequestration. Hyrcanian forest, litter characteristics, C/N.

* Corresponding author

Tel: +989366303710

بررسی زنده‌مانی، رویش و فیزیولوژی شش گونه جنگلکاری شده تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

زهرا بور^۱، سیدمحسن حسینی*^۲، اعظم سلیمانی^۳، کامبیز طاهری آبکنار^۴

- ۱- دانشجوی دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. (zahra.boor.jangal@gmail.com)
- ۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)
- ۳- دانش‌آموخته دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (azamsoleimani.2008@gmail.com)
- ۴- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. (taherikambiz@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده

در این پژوهش مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی ۶ گونه درختی کاشته شده در منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان در فواصل آبیاری مختلف (هفت، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز یکبار) به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی در سال ۱۳۹۸ مورد پژوهش قرار گرفت. مشخصه‌های زنده‌مانی، رویش ارتفاعی، قطری، تاجی، فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب و همچنین محتوای پرولین و کلروفیل کل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با طولانی‌تر شدن دوره‌های آبیاری از ۷ روز یکبار به ۲۸ روز یکبار درصد زنده‌مانی گونه‌ها و صفات ریختی مانند رویش ارتفاعی، قطری، تاجی و سطح برگ گونه‌ها تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد. فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارایی مصرف آب و کلروفیل کل برگ در دوره آبیاری ۷ روز یکبار بیشترین مقدار و دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار کمترین بودند، درحالی‌که کمترین مقدار پرولین در دوره آبیاری ۷ روز یکبار و بیشترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار مشاهده شد. از نظر صفات فیزیولوژیکی بین گونه‌ها تفاوتی وجود نداشت. به‌طورکلی برآیند نتایج نشان داد که گونه‌های داغداغان (*Celtis australis*)، زیتون تلخ (*Melia azedarach*) و افاقیا (*Robinia pseudoacacia*) عملکرد مناسبی در دوره‌های آبیاری مختلف در برخی مشخصه‌های مورد بررسی از خود نشان دادند. به‌طورکلی اگرچه تیمار ۷ روز یکبار آبیاری نتایج بهتری نشان داد، اما با توجه به اینکه تیمارهای ۱۴ و ۲۱ روز یکبار نیز زنده‌مانی بالایی داشتند می‌توانند برای کاهش مصرف آب مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تبادلات گازی، تنش کم‌آبی، کلروفیل.

مقدمه

می‌شود. در شرایط کمبود آب، حفظ پتانسیل آب گیاه برای ادامه رشد ضروری است و این می‌تواند از طریق مکانیسم‌های تنظیم اسمزی ناشی از تجمع محلول‌های سازگار مانند پرولین و قندها در سیتوپلاسم حاصل شود. پرولین علاوه بر ویژگی‌های اسمولیتی و حفظ آب در سیتوپلاسم، دارای یک عملکرد حفاظتی بوده که از آسیب به غشاء در طول تنش‌های زیست‌محیطی جلوگیری کرده و موجب ایجاد ثبات در ساختار و فعالیت‌های پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شوند (Hessini et al., 2009). بدون شک کشور وسیع و پهناور ایران که مقدار نزولات جوی در آن (۲۵۰ میلی‌متر) کمتر از یک سوم متوسط جهانی (۸۶۰ میلی‌متر) آن است و دوسوم آن را نواحی خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارش سالانه کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر تشکیل می‌دهد. بنابراین اخیراً توسعه جنگلکاری اهمیت ویژه‌ای در کشور پیدا کرده است. در واقع جنگلکاری در این مناطق سبب جلوگیری از فرسایش خاک، آلودگی هوا، تعدیل آب و هوایی و ایجاد مکان‌های تفرجگاهی می‌شود. از طرفی به‌دنبال کاهش بارندگی و کمبود آب، جنگلکاری‌های مناطق مختلف کشور طی چند سال اخیر با مشکلات عدیده‌ای روبرو شده‌اند که این مسئله در درازمدت مشکلات عمده‌ای را به‌دنبال خواهد داشت (Delfan Azari et al., 2019). جنگلکاری در شرایط سخت آب و هوایی نواحی خشک و نیمه‌خشک سبب کاهش پتانسیل استقرار، رشد و تولید اغلب گونه‌های گیاهی می‌شود، بنابراین انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط خشکی در مباحث جنگلکاری از اهمیت بسیاری برخوردار است. نیاز آبی برخی از گونه‌های مورد استفاده در جنگلکاری مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند تاغ، گز، آترپلکس، اسکنبیل، پده، سنجد و گونه اکالیپتوس توسط Raad (2018) بررسی شد. برای اندازه‌گیری

پدیده تغییرات اقلیمی در سالیان اخیر با تأثیر بر الگوهای بارشی موجب توسعه مناطق خشک در جهان شده است. مطابق با داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی‌شده در کشور ایران در ۳۰ سال آینده روند افزایشی برای تنش خشکی پیش‌بینی شده است (Khazanedari et al., 2009). جنگلکاری‌ها نقشی مهمی در کاهش سطوح خشکی زمین دارد. به‌علاوه، در سالیان گذشته غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو در حال افزایش بوده و در نتیجه برای کاهش اثرهای منفی آن‌ها سطوح جنگلکاری‌ها افزایش یافته است (Vatani et al., 2021).

تنش خشکی اثرهای شدیدی روی رشد و توسعه گیاه از طریق کاهش نرخ رشد و تجمع زی‌توده دارد. مهم‌ترین پیامدهای تنش خشکی روی گیاهان شامل کاهش نرخ تقسیم سلولی، کاهش اندازه برگ، کاهش قد کشیدگی ساقه و تکثیر ریشه، بسته‌شدن روزنه‌ها، اختلال در روابط آبی گیاه و جذب عناصر غذایی هستند (Li et al., 2009). اولین واکنش گیاهان به تنش خشکی در سطح فیزیولوژیکی اتفاق می‌افتد به‌طوری که کمبود آب و خشکی با تأثیر مستقیم بر عملکرد روزنه‌های گیاهان سبب کاهش در مقدار هدایت روزنه‌ای و به‌دنبال آن تغییر در نرخ فتوسنتز، تعرق، پتانسیل آبی، مقدار کلروفیل برگ و دیگر مشخصه‌های فیزیولوژیکی می‌شود. کاهش در رویش ارتفاعی، قطری، سطح برگ، زیتوده اندام‌های مختلف گیاه، تعداد و اندازه روزنه‌ها در سطح برگ و همچنین تولیدات گیاهان در مراحل بعدی تحت تأثیر تنش خشکی و به‌دنبال تغییر در تبادلات گازی گیاهان اتفاق می‌افتد (Yu et al., 2020). علاوه‌براین، خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو موجب تخریب مولکول‌های کلروفیل شده که در آخر سبب کاهش نرخ فتوسنتز

بر آن است تا ضمن معرفی گونه‌های مقاوم به تنش خشکی و شرایط اقلیمی منطقه فولاد مبارکه اصفهان، مناسب‌ترین تیمار آبیاری برای به‌کارگیری در فضای سبز این منطقه را معرفی کند.

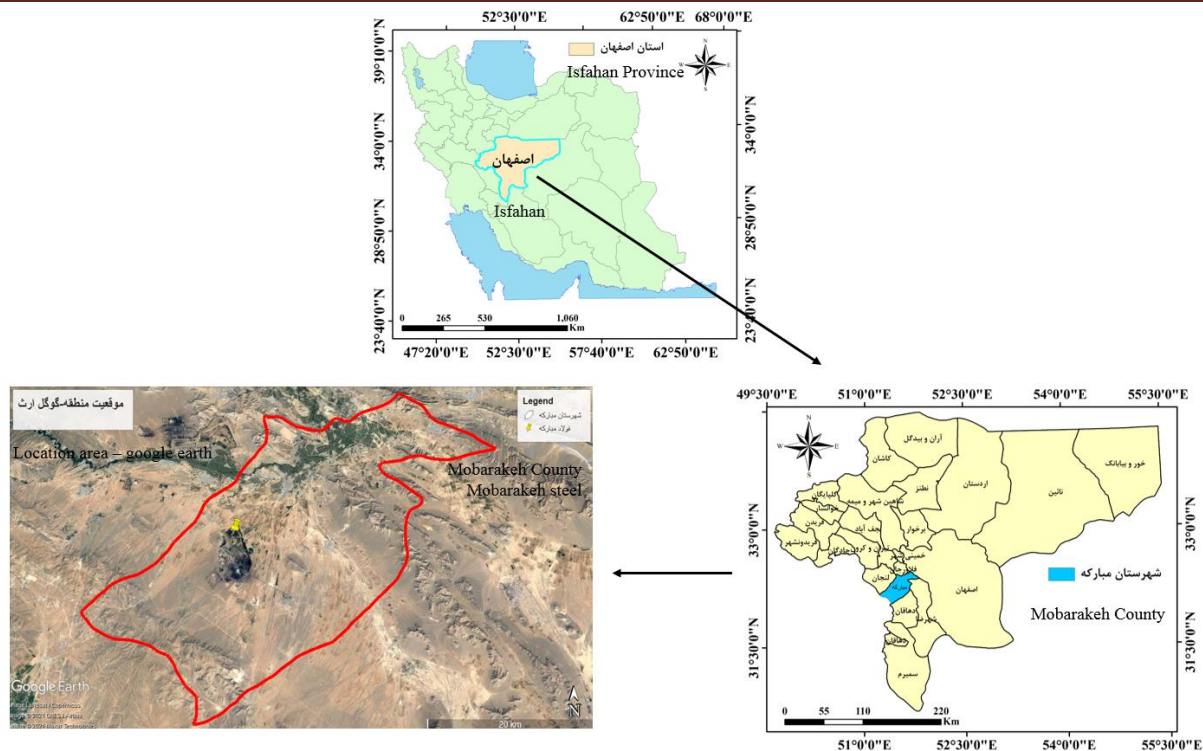
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در فضای چهار هکتاری مشجر شرکت فولاد مبارکه اصفهان که در ۷۵ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرصه‌ای به وسعت ۳۵ کیلومتر مربع (با ارتفاع از سطح دریا ۱۹۹۰ متر) استقرار یافته، انجام شد. منطقه مورد بررسی فاقد شیب و تاحدودی مسطح بوده و در عرض $32^{\circ}34'21''$ شمالی و طول $51^{\circ}51'39''$ شرقی قرار گرفته است. نقشه منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی، دوره بارندگی در این منطقه هفت ماه در سال است که بیشترین مقدار آن به‌طور معمول در اسفند ماه رخ می‌دهد و متوسط سالیانه آن نیز ۱۶۰/۱ میلی‌متر است. متوسط دما و بارندگی سالیانه طی ۱۰ سال اخیر در این مناطق به-ترتیب ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۴۱ میلی‌متر است. طی این دوره، تیر و مرداد با متوسط درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دی‌ماه با متوسط حرارت ۲/۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه-های سال بوده‌اند. متوسط تبخیر سالیانه نیز ۱۷۵۰ میلی‌متر محاسبه شد. در مجموع در این منطقه ۹۵ روز یخبندان به ثبت رسیده است که ۲۶ روز آن در دی‌ماه است. بافت خاک منطقه از نوع شنی-لومی بوده که به دلیل وجود سنگ‌ریزه‌های فراوان (۲۵-۷۵ درصد) ویژگی‌های فیزیکی آن نزدیک به بافت‌های سبک خاک است. مشخصه‌های فیزیوکوشیمیایی خاک منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است.

تبخیر و تعرق روزانه و محاسبه ضریب‌های گیاهی این گیاهان از روش‌های مستقیم و یا لایسیمتری و روش‌های غیرمستقیم و یا محاسباتی استفاده شد. در بین گونه‌های ذکرشده اکالیپتوس با ۱۰ میلی‌متر بیشترین اسکینیل با ۲/۲ میلی‌متر کمترین نیاز آبی روزانه را به-خود اختصاص دادند. پژوهشی با هدف تعیین گونه-های درختی و درختچه‌ای سازگار با شرایط آب و هوایی شهر آبادیه توسط Shaban and Ghodousi (2007) انجام شد. نتایج نشان داد که گونه‌های انجیر، زیتون و داغداغان با داشتن رشد کمتر و درصد مرگ و میر بیشتر کمترین سازگاری و گونه‌های پسته، بنه، بادام کوهی، سنجد، نارون، اقاچیا و توت سفید با داشتن رشد بیشتر و درصد مرگ و میر کمتر از گونه‌های سازگار به منطقه مورد بررسی هستند. در پژوهش دیگر Gindaba et al. (2004) به بررسی مقاومت به خشکی سه گونه پهن‌برگ خزان‌کننده *Cordia* *Millettia* و *Croton macrostachyus africana ferruginea* و دو گونه اکالیپتوس *Eucalyptus camaldulensis* و *E. globulus* پرداختند. نتایج نشان داد که خشکی سبب کاهش در مقدار نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق می‌شود. علاوه‌براین مقدار رویش، سطح برگ و زنده‌مانی کلیه گونه‌های مورد بررسی تحت تأثیر تنش خشکی کاهش قابل توجهی داشته به‌طوری که کمترین مقدار زنده‌مانی به گونه اکالیپتوس و بیشترین مقدار آن به گونه *Millettia ferruginea* اختصاص یافت.

نظر به اهمیت موارد اشاره‌شده در ارتباط با کم-آبی و لزوم صرفه‌جویی و مدیریت در مصرف آب و اهمیت ایجاد، حفظ و توسعه فضای سبز در مناطق خشک که دارای معضل کم‌آبی هستند، نیاز به پژوهش‌های بنیادین با هدف کاهش تلفات خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، این پژوهش



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد بررسی

Figure 1. Location map of the study area

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد بررسی

Table 1. Physico-chemical characteristics of soil in the study area

پتاسیم	کربن	نیتروژن	شن	سیلت	رس (درصد)	واکنش خاک	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)
(پی پی ام)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	Clay (%)	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)
K (ppm)	C (%)	N (%)	Sand (%)	Silt (%)			
238	0.52	0.035	66.8	14.6	18.6	7.4	465

روش پژوهش در این پژوهش دو عامل نوع گونه (شش سطح) و دوره آبیاری (چهار سطح) در پنج تکرار و هشت زیرنمونه تحت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در نظر گرفته شد. گونه‌های درختی در نظر گرفته برای این پژوهش شامل: بلوط ایرانی (*Quercus persica*)، بلند مازو (*Q. castaneifolia*)، افاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، داغداغان (*Celtis australis*)، توت (*Morus alba*)، زیتون تلخ (*Melia azedarach*)، بود که سن هر یک حدود هفت سال است. دوره‌های آبیاری به شکل آبیاری قطره‌ای با تنظیم دوره‌های مذکور انجام شد. در پایان و پس از ۷

روش پژوهش برای انجام این پژوهش از طرح پژوهشی "شناسایی گونه‌های درختی و درختچه‌ای سازگار با شرایط اقلیمی منطقه فولاد مبارکه اصفهان" که با همکاری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد، استفاده شد. در این طرح که از سال ۱۳۹۱ اجرایی شد از شش گونه درختی در مساحتی چهار هکتاری استفاده شد. در اجرای این طرح از چهار دوره آبیاری ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز یک‌بار به-عنوان تیمار استفاده شد. هر تیمار دارای پنج تکرار و هر تکرار حاوی هشت نهال است.

قابل‌حمل بوده، استفاده شد. برای اندازه‌گیری مشخصه‌های اشاره شده در یک روز آفتابی و در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا (در ساعات بین ۱۱-۹/۳۰ قبل از ظهر) از هر تکرار سه تا پنج برگ از بالغ‌ترین و توسعه یافته‌ترین برگ که در قسمت‌های انتهایی درخت قرار دارد، انتخاب شد (Yu et al., 2020). همچنین کارآیی مصرف آب داخلی گیاه از نسبت مقدار فتوستتوز به هدایت روزنه‌ای محاسبه شد.

برای هر یک از تیمارهای اعمال شده تعداد سه برگ کاملاً توسعه‌یافته از گونه‌های مختلف در استون ۸۰ درصد حل و به‌دنبال آن محتوای کلروفیل کل (a+b) طبق روش (Arnon 1949) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری پرولین برگ، در انتهای دوره آزمایش مقدار نیم گرم از نمونه‌های برگ تازه نهال‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد در هاون به‌صورت دستی هموزن و محلول همگن حاصل شده در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. به دو میلی‌لیتر از عصاره سانتریفیوژ شده مقدار دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر اسیدناین هیدرین اضافه شد. محلول نهایی به‌مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری (آب با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس) قرار داده شد. سپس لوله‌های آزمایش حاوی محلول را در داخل محیطی یخی قرار داده تا پس از خنک شدن چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌های آزمایش اضافه شود. در پایان، غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۲۰ نانومتر با در نظر گرفتن منحنی حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، برحسب گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

سال از کاشت نهال‌های دوساله گونه‌ها در عرصه پژوهشی، در شهریورماه ۱۳۹۸ مشخصه‌های مختلف ریختی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شد.

زنده‌مانی و مشخصه‌های ریخت‌شناسی نهال‌ها تحت

تنش خشکی

در انتهای دوره، درصد زنده‌مانی نهال‌ها در دوره‌های مختلف آبیاری ثبت شد. همچنین در ابتدا و انتهای دوره مشخصه‌های ریختی مانند قطر، ارتفاع و قطر تاج نهال‌ها برای محاسبه رویش قطری، ارتفاعی و تاجی اندازه‌گیری شدند. قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت یک‌صدم، ارتفاع و میانگین قطر تاج گونه‌های کاشته شده با استفاده از متر نواری تا دقت یک‌سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار زنده‌مانی نهال‌های کاشته‌شده نیز از طریق تقسیم تعداد نهال‌های زنده در هر تکرار در برداشت انتهایی (۱۳۹۸) به تعداد نهال‌های هر تکرار در ابتدای دوره (۱۳۹۱) محاسبه شد که با ضرب عدد به‌دست‌آمده از این نسبت در ۱۰۰، درصد زنده‌مانی محاسبه شد. همچنین سطح برگ کلیه گونه‌ها با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter تا دقت سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. برای این کار از برگ‌های بالغ انتهایی درخت و به تعداد سه برگ در هر تکرار استفاده شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نهال‌ها

تحت تنش خشکی

اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های تحت تنش خشکی تنها برای شش گونه اقاویا، بلوط غرب، بلندمازو، داغداغان، توت و زیتون تلخ انجام شد. برای اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیولوژیکی نهال‌های مذکور مانند نرخ فتوستتوز خالص، مقدار تعرق و هدایت روزنه‌ای برگ از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی (Model LCpro+, ADC BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK) که

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس به وسیله آزمون لون بررسی شد. تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه (Two-way ANOVA) تجزیه و تحلیل شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی (Tukey) در سطح اطمینان یک درصد استفاده شد. ترسیم نمودارها در محیط Excel انجام شد.

نتایج

زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (GLM) آشکار کرد که مشخصه‌های درصد زنده‌مانی، رویش ارتفاعی، قطری و تاجی گونه‌های بررسی شده در این پژوهش به‌طور مجزا در سطح گونه، آبیاری و اثر متقابل گونه×آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی تحت تیمارهای مختلف

Table 1. Results of Two-way ANOVA for survival and growth parameters in different treatment

گونه × آبیاری		آبیاری		گونه		مشخصه‌های رویشی Growth parameters
Irrigation × Species		Irrigation		Species		
P	F	P	F	P	F	
0.000**	6.242	0.000**	28.395	0.000**	9.696	زنده‌مانی Survival
0.000**	16.479	0.000**	187.402	0.000**	610.553	رویش ارتفاعی Height growth
0.000**	10.654	0.000**	211.781	0.000**	244.321	رویش قطری Diameter growth
0.000**	5.416	0.000**	171.179	0.000**	84.889	رویش تاجی Crown growth

** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌داری.

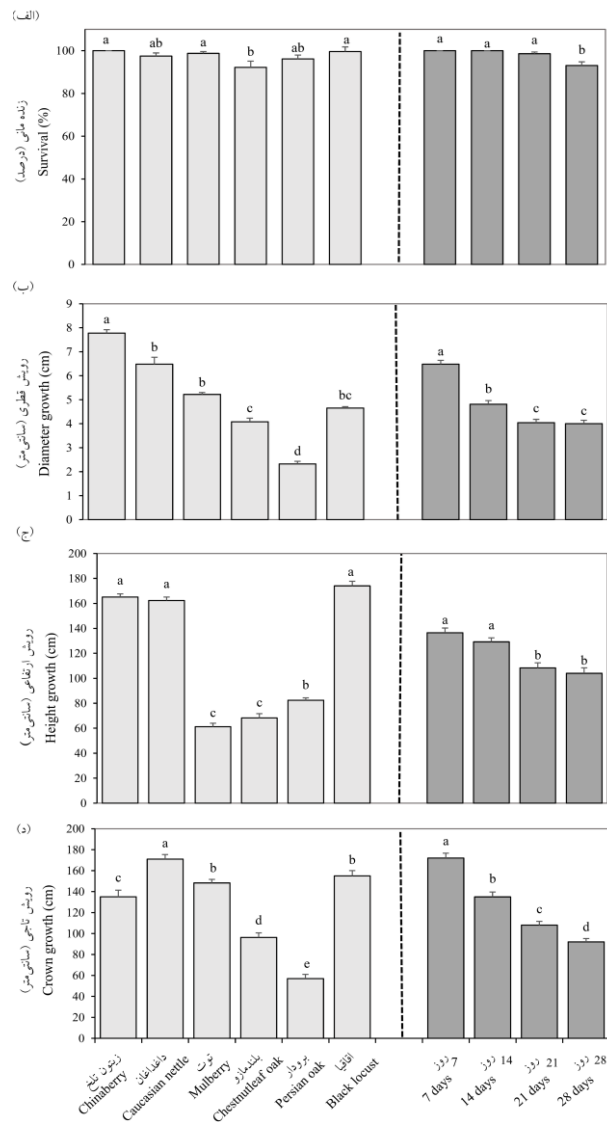
* Indicates significant correlation at 0.05 levels, ** indicates significant correlation at 0.01 levels and ns shows no significant correlation.

اختصاص داشت، حال آن‌که کمترین مقدار آن در گونه بلوط ایرانی مشاهده شد. همچنین رویش قطری گونه‌های مورد بررسی با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت، به طوری که بیشترین رویش قطری در دوره آبیاری ۷ روز یکبار و کمترین مقدار آن در دوره‌های آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز یکبار مشاهده شد (شکل ۲ ب). بیشترین مقدار رویش ارتفاعی به گونه‌های داغداغان (۱۶۲/۳۲ سانتی‌متر)، زیتون تلخ (۱۶۵/۱۴ سانتی‌متر) و افاقیا (۱۷۴/۰۵ سانتی‌متر) اختصاص داشت، حال آن‌که

مطابق با نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی، مقدار زنده‌مانی در گونه بلندمازو (۹۲/۲۲ درصد) کمترین مقدار بود و بین گونه‌های دیگر تفاوتی مشاهده نشد. به علاوه، دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار نسبت به دیگر دوره‌ها زنده‌مانی کمتری داشت، حال آن‌که تفاوت معنی‌داری بین دوره‌های دیگر مشاهده نشد (شکل ۲ الف). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های رویش قطری نشان داد که بیشترین مقدار رویش قطری به گونه زیتون تلخ

مقدار به گونه بلوط ایرانی و سپس بلندمازو اختصاص داشت. در بین دوره‌های مختلف آبیاری نیز بیشترین مقدار آن به دوره آبیاری ۷ روز یکبار و کمترین مقدار آن به دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار اختصاص داشت و بین تمامی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۲د).

کمترین مقدار آن به گونه بلندمازو (۶۸/۲۵ سانتی‌متر) و توت (۶۱/۱۶ سانتی‌متر) اختصاص داشت. مقدار رویش ارتفاعی در دوره‌های آبیاری ۷ رزو و ۱۴ روز یکبار نسبت به دو سطح دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۲ج). به‌علاوه، بیشترین مقدار رویش تاجی به گونه داغداغان و سپس افاقیا و توت و کمترین



شکل ۲- مقایسه زنده‌مانی، رویش ارتفاعی و رویش تاجی بین گونه‌های مختلف و همچنین بین دوره‌های مختلف آبیاری. داده‌ها نشان دهنده مقدار میانگین \pm خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشادهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون توکی است.

Figure 1. Comparison of survival, diameter growth, height growth and crown growth between different species and different irrigation periods. The data represent the mean \pm the standard error and letters above the columns represent significance level at 0.05 using Tukey test.

مشخصه‌های فیزیولوژیکی

مشخصه‌های فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در سطح ۹۹ درصد و کارایی مصرف آب در سطح ۹۵ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود (جدول ۳).

نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که اثر گونه به تنهایی و اثر متقابل گونه×آبیاری در هیچ کدام از مشخصه‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی معنی‌دار نشد، حال آن‌که اثر دوره‌های مختلف آبیاری در

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه مشخصه‌های فیزیولوژیکی تحت تیمارهای مختلف

Table 2. Results of Two-way ANOVA for physiological parameters in different treatment

گونه × آبیاری		آبیاری		گونه		مشخصه‌های فیزیولوژیکی Physiological parameters
Irrigation × Species		Irrigation		Species		
P	F	P	F	P	F	
0.395 ^{ns}	1.066	0.000**	143.746	0.263 ^{ns}	1.314	فتوسنتز Photosynthesis
0.059 ^{ns}	1.705	0.000**	205.563	0.128 ^{ns}	1.752	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
0.063 ^{ns}	1.682	0.000**	207.654	0.144 ^{ns}	1.682	تعرق Transpiration
0.743 ^{ns}	0.736	0.045*	2.542	0.548 ^{ns}	0.805	کارایی مصرف آب Water use efficiency

** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌داری.

* Indicates significant correlation at 0.05 levels, ** indicates significant correlation at 0.01 levels and ^{ns} shows no significant correlation.

اختلاف معنی‌داری داشته حال آن‌که در سطح آبیاری مقدار پرولین و کلروفیل کل برگ در سطح ۹۹ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند. همچنین اثر متقابل گونه×آبیاری در هیچ‌کدام از مشخصه‌های بیوشیمیایی مورد بررسی اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول ۴).

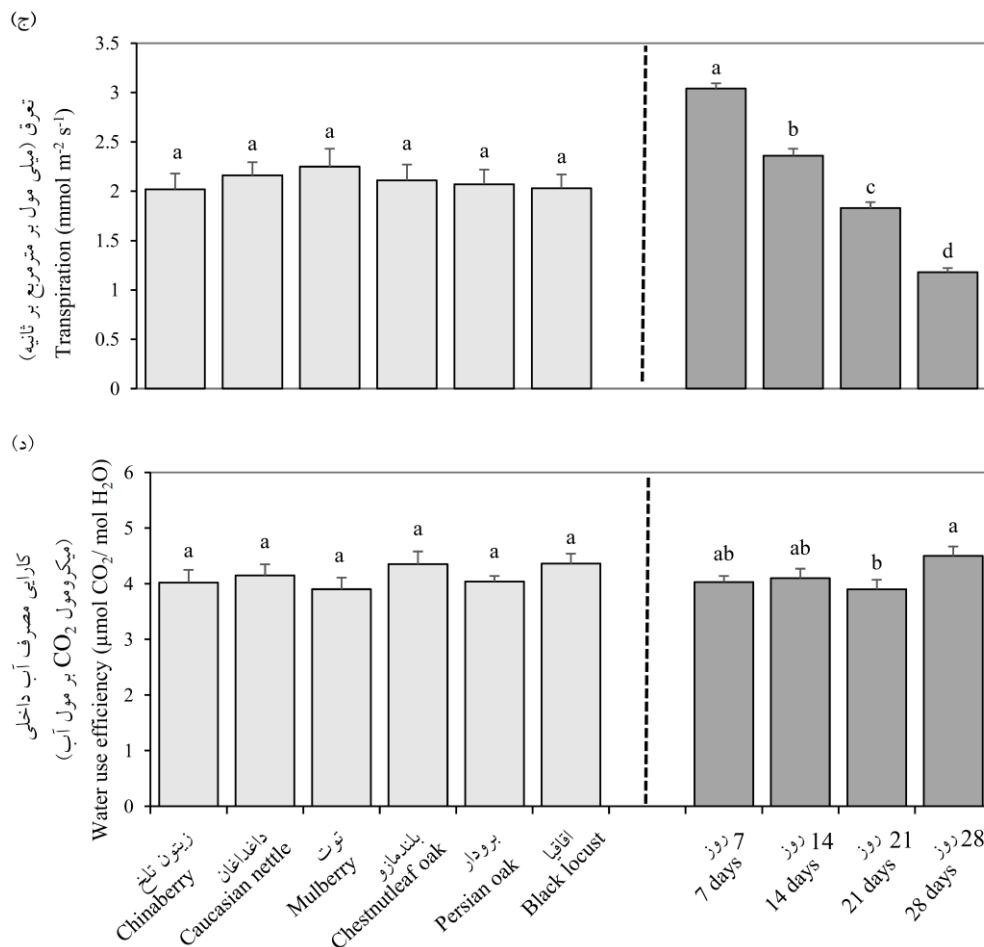
نتایج حاکی از آن است که تفاوت آماری معنی‌داری در مشخصه پرولین برگ بین گونه‌های مختلف وجود ندارد، حال آن‌که با افزایش شدت استرس ناشی از کم‌آبی، پرولین برگ نیز افزایش یافته به طوری که بالاترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار و کمترین مقدار آن در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گونه بلوط ایرانی بالاترین و گونه توت پایین-

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های مورد بررسی در کلیه مشخصه‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی وجود ندارد، حال آن‌که بین کلیه رژیم‌های آبیاری مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین مقدار فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار و کمترین مقدار آن‌ها در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار به ثبت رسید. همچنین بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار و کمترین مقدار آن بین دیگر دوره‌های آبیاری مشاهده شد (شکل ۳).

محتوای کلروفیل و پرولین

نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که اثر گونه به طور مجزا تنها در مشخصه کلروفیل کل

ترین مقدار کلروفیل کل برگ را دارند. همچنین مقدار کلروفیل کل برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبی به شدت کاهش یافته به طوری که کمترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار و بیشترین مقدار آن در دوره آبیاری ۷ روز یکبار به ثبت رسید (شکل ۴).



شکل ۳- مقایسه فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و کارایی مصرف آب بین گونه‌های مختلف و همچنین بین دوره‌های مختلف آبیاری. داده‌ها نشان دهنده مقدار میانگین \pm خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون توکی است.

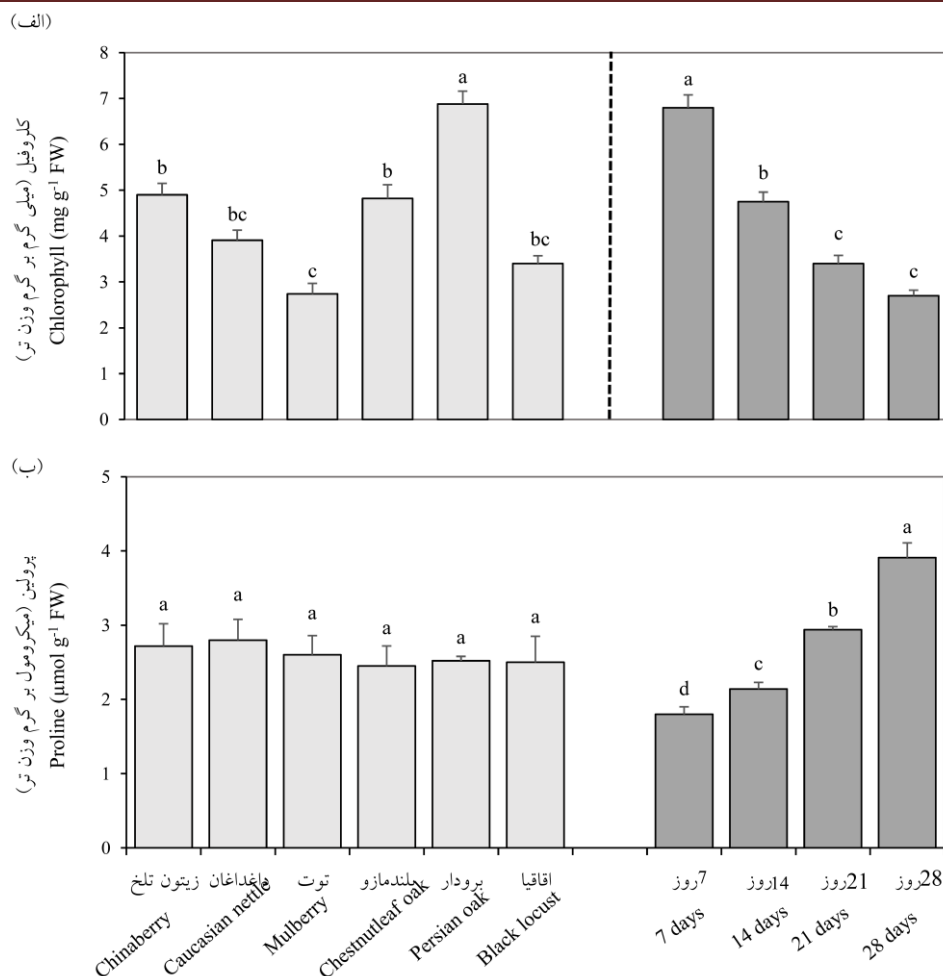
Figure 2. Comparison of photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and water use efficiency between different species and different irrigation periods. The data represent the mean \pm the standard error and letters above the columns represent significance level at 0.05 using Tukey test.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه کلروفیل کل و پرولین تحت تیمارهای مختلف

گونه \times آبیاری		آبیاری		گونه		مشخصه‌های بیوشیمیایی Biochemical parameters
Irrigation \times Species		Irrigation		Species		
P	F	P	F	P	F	
0.958 ^{ns}	0.439	0.000**	65.384	0.733 ^{ns}	0.502	پرولین Proline
0.386 ^{ns}	1.095	0.000**	57.544	0.000**	23.448	کلروفیل کل Total chlorophyll

** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌داری.

* Indicates significant correlation at 0.05 levels, ** indicates significant correlation at 0.01 levels and ^{ns} shows no significant correlation.



شکل ۴- مقایسه کلروفیل کل و پرولین بین گونه‌های مختلف و همچنین بین دوره‌های مختلف آبیاری. داده‌ها نشان دهنده مقدار میانگین \pm خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون توکی است.

Figure 3. Comparison of total chlorophyll and proline between different species and different irrigation periods. The data represent the mean \pm the standard error and letters above the columns represent significance level at 0.05 using Tukey test.

به‌علاوه پاسخ گونه‌های مختلف به رژیم‌های مختلف آبیاری متغیر بود.

در پایان آزمایش، درصد زنده‌مانی به‌ترتیب در گونه‌های بلوط ایرانی و بلوط بلندمازو تحت دوره‌های مختلف آبیاری کاهش بیشتری نشان داد اما در گونه‌های دیگر کاهش مشاهده نشد. دوره آبیاری ۲۸ روز تأثیر منفی بیشتری روی کاهش نرخ زنده‌مانی نهال‌های مختلف داشت و با کوتاه شدن فواصل آبیاری نرخ زنده‌مانی نهال‌ها در گونه‌های مختلف بیشتر بود.

بحث

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر زنده‌مانی و مشخصه‌های

رویشی گیاهان

در این پژوهش تأثیرپذیری مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های ۶ گونه درختی در فواصل مختلف آبیاری در منطقه فولاد مبارکه اصفهان ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که محدودیت‌های آبی اثرهای معنی‌داری روی زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی گونه‌های مختلف مورد بررسی داشت و

Corcobado et al.,) *Q. pubescens* و *petraea*

(2014) مشاهده شد. در این پژوهش، با افزایش فواصل آبیاری سطح برگ نهال‌ها نیز کاهش یافت. یکی از سازگاری‌های مورفولوژیکی گیاهان در زمان مواجهه با تنش خشکی، کاهش سطح برگ است. درختانی که دارای تعداد برگ بیشتری هستند در شرایط خشکی، پتانسیل فتوسنتزی بالاتری را دارند. از طرف دیگر، در این گیاهان با افزایش تعداد برگ‌ها، تعرق نیز بیشتر می‌شود و این موضوع، با کمبود آب در تقابل است. بنابراین بایستی بین کاهش مقدار تعرق و سطح بحرانی برگ برای فتوسنتز تعادل پایداری وجود داشته باشد. در این شرایط، کاهش سطح برگ، یکی از سازوکارها برای ایجاد سازگاری است که گیاهان انجام می‌دهند. هم‌زمان با کاهش سطح برگ گیاه در اثر تنش خشکی، تعرق گیاه هم کم می‌شود و هدررفت آب از طریق روزنه، به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. در واقع تنش خشکی با کاهش تقسیم سلولی و نمو به- دلیل کاهش آماس سلولی سطح برگ کاهش داده که سبب کاهش نرخ تعرق در شرایط تنش می‌شود. مطابق با نتایج این پژوهش کاهش سطح برگ گونه‌های بلوط ایرانی (Ghanbary et al., 2017)، شیشم و ابریشم (Rao et al., 2008) تحت تنش خشکی گزارش شد.

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر فعالیت‌های فیزیولوژی گیاهان
فعالیت‌هایی مثل فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و غلظت داخلی دی‌اکسید کربن برگ صفات بسیار مهمی بوده که در گونه‌های پهن‌برگ مورد بررسی در این پژوهش تحت تأثیر محدودیت‌های آبی تغییر کردند. کمبود آب یا خشکی موجب کاهش عملکرد دستگاه فتوسنتزی در همه گونه‌ها شد و با افزایش فواصل آبیاری این اثرهای منفی شدیدتر بود. کاهش نرخ فتوسنتز می‌تواند مرتبط با کاهش هدایت روزنه‌ای، تعرق و تغییرات مزوفیلی مانند تغییرات محتوای دی‌اکسیدکربن بین-

مطابق به نتایج این پژوهش، کاهش زنده‌مانی گونه‌های بلوط مانند بلوط ایرانی تحت تنش خشکی در پژوهش های دیگر گزارش شده است (Ghanbary et al., 2017). آن‌ها در پژوهش خود مشاهده کردند که تنش خشکی نرخ زنده‌مانی نهال‌های بلوط دارمازو و وی‌ول را کاهش داد. مرگ و میر درختان به دلیل تنش خشکی یک پدیده جهانی بوده که در گونه‌های مختلف مشاهده شده است و می‌تواند نشان دهنده اثرهای منفی تجمعی خشکی باشد.

مقدار رویش ارتفاعی در دوره‌های آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز نسبت به دیگر دوره‌ها دارای مقدار کمتری بود. همچنین کمترین رویش ارتفاعی در گونه‌های توت و بلوط بلند مازو و بلوط ایرانی وجود داشت. با افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۲۸ روز نرخ رویش قطری کاهش یافت. گونه زیتون تلخ دارای بیشترین و گونه بلوط ایرانی دارای کمترین مقدار رویش قطری بودند. نرخ رویش همیشه به‌عنوان یک شاخص مهم از شادابی و واکنش گیاه به تنش‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. در شرایط بهینه، گیاهان انرژی خود را به رشد، حفظ سلولی و رشد زایشی اختصاص می‌دهند، در صورتی- که تحت تنش خشکی گیاهان برای زنده‌مانی نیازمند ایجاد تعادل بین تولید انرژی و سیستم دفاعی هستند. در چنین شرایطی، تخصیص انرژی برای تقویت سیستم دفاعی به‌جای رویش و کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی یک استراتژی رایج در گیاهان برای مقابله با تنش خشکی است (Corcobado et al., 2014). در نتیجه می‌توان گفت که خشکی یک اثر متوقف‌کننده روی نرخ رشد گیاهان دارد. اثرهای عوامل خشکی روی کاهش رویش ارتفاعی در پژوهش‌های گذشته گزارش شد، به طوری که کاهش رویش ارتفاعی و قطری تحت تأثیر تنش خشکی در ۳ گونه *Q. robur*، *Quercus. ilex*، *Q.*

حفظ آب و حمایت از فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه بیشتر است.

محتوای رنگدانه‌های برگ مانند کلروفیل و کاروتنوئیدها شاخص مهمی از وضعیت گیاه است که می‌تواند برای ارزیابی فعالیت فتوسنتز گیاه مورد استفاده قرار گیرد. تنش غیرزیستی مانند خشکی اغلب منجر به کاهش تعداد کلروپلاست، تجزیه کلروفیل و کلروز و نکروز برگ‌ها می‌شود. در این پژوهش نیز مشاهده شد که با افزایش فواصل آبیاری محتوای کلروفیل گونه‌ها کاهش معنی‌داری نشان داد. در پژوهش‌های قبلی کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی گزارش شد (Ghanbary et al., 2021).

پرویلین یک نقش مهم در مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ایفا می‌کند که به دلیل عملکردش به‌عنوان یک اسمولیت بوده و موجب پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. افزایش تجمع پرویلین تحت شرایط تنش خشکی در بسیاری از گیاهان به‌طور گسترده گزارش شده است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی و املاح سازگاری عمل می‌کند و موجب تسهیل جذب آب تحت شرایط تنش‌زا می‌شود و در نتیجه از سلول‌های گیاه در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند (Cotrozzi et al., 2016). گونه‌های پهن‌برگ مورد ارزیابی در این پژوهش نیز با افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۲۸ روز محتوای پرویلین برگ افزایش یافته‌ای داشتند. محتوای پرویلین برگ گونه‌های زیتون تلخ و توت بالاترین مقدار بود که می‌تواند بیانگر ظرفیت بالای تنظیمات اسمزی این گونه‌ها در شرایط خشکی باشد. به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار پرویلین بر اثر تنش ممکن است به‌عنوان مسیری برای حفظ انرژی باشد، که از طریق بازدارندگی رشد توسط فعالیت آنزیم پراکسیداز موجود در دیواره‌های سلولی صورت می‌گیرد. پرویلین در طول تنش بیشتر

سلولی و محتوای رنگدانه‌ای باشد (Cotrozzi et al., 2016). مطابق با نتایج این پژوهش، در پژوهش‌های گوناگون کاهش نرخ فعالیت‌های فتوسنتزی در گونه‌های درختی مانند *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Pinus halepensis*, *torquata Eucalyptus* و *camaldulensis* تحت تنش خشکی گزارش شد (Souden et al., 2020). هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی نیز در همه گونه‌ها با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت که یک مکانیسم فیزیولوژیکی رایج بوده و از هدررفت آب توسط گیاه و ازدست‌رفتن آب سلول در طول دوره‌های خشکی ممانعت به‌عمل می‌آورد. وضعیت رطوبتی خاک یا ریشه به‌طور مستقیم روزنه را تأثیر قرار می‌دهد که این موضوع در بیشتر گیاهان گزارش شده است. متعاقباً، کاهش هدایت روزنه‌ای اثرهای منفی روی کارایی سیستم فتوسنتزی دارد، به‌طوری که رابطه بین هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌تواند این نتیجه‌گیری را تأیید کند (Hossain et al., 2019).

در این پژوهش مشاهده شد با افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۲۸ روز کارایی مصرف آب فتوسنتزی نهال‌ها در گونه‌های مختلف روند افزایشی نشان داد. گونه بلوط و اقاچیا نسبت به دیگر گونه‌ها کارایی مصرف آب پایین‌تری داشتند. افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش کمبود آب ممکن است به‌دلیل اثر بیشتر کمبود آب بر هدایت روزنه‌ای در مقایسه با تثبیت کربن باشد (Pérez-Pérez et al., 2009). حفظ نرخ فتوسنتز در شرایط بسته شدن روزنه‌ها و تعرق پایین در طول دوره تنش منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود و این افزایش برای بقای درخت و حفظ عملکردش ضروری است. در نتیجه می‌توان گفت گونه‌هایی که کارایی مصرف آب بالاتری در شرایط تنش خشکی دارند، توانایی آن‌ها در

نظر تحت دوره‌های مختلف آبیاری و در گونه‌های کاشته شده موفقیت‌آمیز بوده است. بر اساس مشخصه‌های رویشی نوع گونه‌های درختی مورد استفاده در جنگلکاری‌ها می‌تواند در پاسخ به کمبود آب اهمیت داشته باشد، به طوری که گونه‌های داغدان، زیتون تلخ و اقاچیا عملکرد بهتری در دوره‌های آبیاری مختلف از خود نشان دادند. همچنین مشاهده شد که بهترین دوره آبیاری ۷ روز یکبار است و با افزایش فواصل آبیاری گیاهان به طور منفی تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. روی هم‌رفته با توجه به اینکه مهم‌ترین هدف در جنگلکاری در مناطق خشک مقدار بالای زنده‌مانی است، می‌توان نتیجه گرفت که دوره‌های آبیاری ۱۴ و ۲۱ به مانند دوره ۷ روزه نتایج مطلوبی داشته که می‌تواند برای کاهش مصرف آب مورد استفاده قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت کامل شرکت فولاد مبارکه اصفهان به انجام رسید، که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Arnon, D. I., Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology* **1949**, *24* (1), 1.
- Bates, L. S.; Waldren, R. P.; Teare, I., Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil* **1973**, *39* (1), 205-207.
- Corcobado, T.; Cubera, E.; Juárez, E.; Moreno, G.; Solla, A., Drought events determine performance of *Quercus ilex* seedlings and increase their susceptibility to *Phytophthora cinnamomi*. *Agricultural and Forest Meteorology* **2014**, *192*, 1-8.
- Cotrozzi, L.; Remorini, D.; Pellegrini, E.; Landi, M.; Massai, R.; Nali, C.; Guidi, L.; Lorenzini, G., Variations in physiological and biochemical traits of oak seedlings

سنتز سلولی را افزایش و تخریب را کاهش می‌دهد (Verbruggen and Hermans, 2008).

به‌طورکلی نتایج نشان داد افزایش دوره آبیاری از ۷ روز یکبار به ۲۸ روز یکبار سبب تغییر در زنده‌مانی، کاهش ویژگی‌های رویشی مانند رویش ارتفاعی، قطری و تاجی گونه‌های مورد بررسی شد. علاوه‌براین افزایش شدت تنش کم‌آبی سبب کاهش مشخصه‌های فیزیولوژیکی گیاهان مانند فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق شد، به طوری که این کاهش در دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار شدیدتر از دیگر دوره‌های آبیاری بود. پرولین و کلروفیل کل برگ به‌عنوان یکی از مشخصه‌های بیوشیمیایی مورد بررسی تحت تأثیر گونه اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند، حال آنکه تحت تأثیر دوره‌های آبیاری اختلاف آماری معنی‌داری داشتند. پرولین برگ در دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار بالاترین مقدار و در دوره آبیاری ۷ روز یکبار کمترین مقدار بود. همچنین کلروفیل کل برگ در دوره آبیاری ۷ روز بیشترین و در دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار کمترین مقدار را داشت.

به‌طورکلی، با توجه به مقدار بالای زنده‌مانی گونه‌ها طی دوره آزمایش می‌توان گفت که طرح مورد

grown under drought and ozone stress. *Physiologia plantarum* **2016**, *157* (1), 69-84.

Delfan Azari, N.; Rostami Shahraji, T.; Gholami, V.; Hashemi Garmdareh, S. E., The effect of different irrigation levels on growth parameters of ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill) seedlings in green space of Tehran city. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 229-244. (In Persian)

Ghanbary, E.; Fathizadeh, O.; Pazhouhan, I.; Zarafshar, M.; Tabari, M.; Jafarnia, S.; Parad, G. A.; Bader, M. K.-F., Drought and pathogen effects on survival, leaf physiology, oxidative damage, and defense in two Middle Eastern oak species. *Forests* **2021**, *12* (2), 247.

- Ghanbary, E.; Tabari Kouchaksaraei, M.; Mirabolfathy, M.; Modarres Sanavi, S.; Rahaie, M., Growth and physiological responses of *Quercus brantii* seedlings inoculated with *Biscogniauxia mediterranea* and *Obolarina persica* under drought stress. *Forest Pathology* **2017**, *47* (5), e12353.
- Gindaba, J.; Rozanov, A.; Negash, L., Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. *Forest Ecology and Management* **2004**, *201* (1), 119-129.
- Hessini, K.; Martínez, J. P.; Gandour, M.; Albouchi, A.; Soltani, A.; Abdelly, C., Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. *Environmental and Experimental Botany* **2009**, *67* (2), 312-319.
- Hossain, M.; Veneklaas, E. J.; Hardy, G. E. S. J.; Poot, P., Tree host-pathogen interactions as influenced by drought timing: linking physiological performance, biochemical defence and disease severity. *Tree Physiology* **2019**, *39* (1), 6-18.
- Khazanedari, L.; Zabol Abbasi, F.; Ghandhari, S.; Kouhi, M.; Malbousi, S. In *Drought prediction in Iran during next 30 years*, 9th EMS Annual Meeting, 2009; pp EMS2009-50.
- Li, Y.; Ye, W.; Wang, M.; Yan, X., Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate research* **2009**, *39* (1), 31-46.
- Pérez-Pérez, J.; Robles, J.; Tovar, J.; Botía, P., Response to drought and salt stress of lemon 'Fino 49' under field conditions: water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae* **2009**, *122* (1), 83-90.
- Raad, M., Water requirement of some forest species used for afforestation in arid and semi-arid regions, *Journal of Iran Nature* **2018**, *3* (4), 40-47. (In Persian)
- Rao, P.; Kaur, A.; Tewari, A., Drought resistance in seedlings of five important tree species in Tarai region of Uttarakhand. *Tropical ecology* **2008**, *49* (1), 43.
- Shaban, M.; Ghodousi, J., Investigation of the best tree and shrub species adaptable to climatic conditions of Abadeh. *Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran* **2007**, 1-14. (In Persian)
- Souden, S.; Ennajeh, M.; Ouledali, S.; Massoudi, N.; Cochard, H.; Khemira, H., Water relations, photosynthesis, xylem embolism and accumulation of carbohydrates and cyclitols in two *Eucalyptus* species (*E. camaldulensis* and *E. torquata*) subjected to dehydration-rehydration cycle. *Trees* **2020**, *34* (6), 1439-1452.
- Vatani, L.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J.; Raeini Sarjaz, M.; Shamsi, S. S., Soil physico-chemical properties 20 years after plantation in the Iranian northern forests (Emphasizing on carbon and nitrogen stocks in plantation with broadleaved and coniferous species). *Journal of Forest Research and Development* **2021**, *7* (1), 93-105. (In Persian)
- Verbruggen, N.; Hermans, C., Proline accumulation in plants: a review. *Amino acids* **2008**, *35* (4), 753-759.

Investigation of survival, growth and physiology of six afforested species under different irrigation regimes

Z. Boor¹, S. M. Hosseini^{*2}, A. Soleimani³, K. Taheri Abkenar⁴

1- Ph.D. student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gilan University, Gilan, I. R. Iran.
(zahra.boor.jangal@gmail.com)

2- Professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Mazandaran, I. R. Iran. (hosseini@modares.ac.ir)

3- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Mazandaran, Iran.
(azamsoleimani.2008@gmail.com)

4- Associate professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Gilan University, Gilan, Iran.
(taherikambiz@yahoo.com)

Received: 27.06.2021 Accepted: 25.10.2021

Abstract

In this research, morphological, physiological and biochemical of 6 tree species in industrial Foolad Mobarakeh of Isfahan region at different irrigation intervals (seven, 14, 21 and 28 days) were studied in a completely randomized design and factorial in 2019. Survival, height, diameter, crown characteristics, photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, water use efficiency, proline, and whole leaf chlorophyll were evaluated. The results of comparing the means showed that with the prolongation of irrigation cycles from once every seven days to once every 28 days, the survival rate of species and morphological traits such as height, diameter, and crown of the species decreased. Physiological and biochemical characteristics under the influence of species did not differ statistically significantly, while increasing the irrigation period from seven days to 28 days showed dramatic changes in these characteristics. Photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, water use efficiency and total leaf chlorophyll were highest in irrigation cycle once every seven days and minimum once every 28 days, while leaf proline content had the opposite trend so that the lowest amount in the irrigation cycle once every seven days and its maximum amount was observed in the irrigation cycle once in 28 days. There was no difference between species in terms of physiological parameters. Generally, the results showed that the species Caucasian nettle tree, chinaberry and black locust have good performance in irrigation periods. Although it has been determined that the best irrigation treatment is once every 7 days, but 14 and 21 days also have high survival rate and can be used to reduce water consumption.

Keywords: Chlorophyll, Gas exchanges, Water deficit stress, Proline.

* Corresponding author

Tel: +981144998069