

ارزیابی رشد و تولید ارقام صنوبر (*Populus nigra* L.) تاج‌بسته تحت یک دوره تنش شدید خشکی در پوپولتوم مقایسه‌ای سنندج

بایزید یوسفی^{۱*} و علیرضا مدیر رحمتی^۲

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. پست الکترونیک: bayzidyousefi@yahoo.com

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های اخیر، ارزیابی توان رشد و تولید ارقام صنوبر (*Populus* spp.) در شرایط تنش خشکی ضروری است. این پژوهش با ۱۴ کلن تاج‌بسته صنوبر (*P. nigra* L.) با فاصله کاشت ۳×۳ متر از سال ۱۳۸۰ به مدت هفت سال در سنندج اجرا شد. کاشت نهال کلن‌ها در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در فروردین ۱۳۸۱ انجام شد. مزرعه در سال ۱۳۸۶ به دلیل عدم امکان تأمین آب تا دهم تیر تحت تنش خشکی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشکی موجب زردی و خزان برگ‌ها، حمله چوب‌خوار (*Melanophylla picta*) و در نهایت خشک شدن تعدادی از درختان شد. تنش، ضمن افزایش دامنه تغییرات صفات، رشد کلن‌های صنوبر را به شدت محدود کرد، به طوری که درختان در معرض خشکی نتوانستند سرعت و مقدار رشد بالقوه خود را نشان دهند. پاسخ به تنش خشکی در بین کلن‌های صنوبر تنوع قابل ملاحظه‌ای نشان داد، به طوری که در کلن‌های *P. nigra* M و *P. nigra* 42/53 درصد تلفات صفر بود، اما در برخی مانند *P. nigra* 63/135 حدود نیمی از درختان از بین رفتند. میانگین تلفات کلن‌ها ۲۰/۴۹ درصد بود و دو کلن *P. nigra* 56/52 و *P. nigra* 56/75 با تولید چوب به ترتیب ۲۵/۶۱ و ۲۴/۸ متر مکعب در هکتار در سال و خسارت متوسط (۲۵ تا ۳۰ درصد) جزء کلن‌های دارای بهترین عملکرد و به نسبت متحمل به خشکی بودند. نتایج تجزیه ضریب‌های همبستگی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تأثیر منفی تنش خشکی را بر عملکرد چوب و اجزای آن نشان دادند. بدین شکل که کلن‌های کوچک‌تر و دارای تعداد و اندازه برگ کمتر با ظرفیت حفظ آب گیاه و کاهش سطح تبخیر، قابلیت تحمل خشکی بیشتری داشتند. همچنین، وجود تنوع ژنتیکی از نظر تحمل تنش در بین کلن‌های صنوبر و الگوی تفکیک آن‌ها در تجزیه خوشه‌ای و نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، بیانگر دخالت عامل‌های ژنتیکی در کنترل آن و امکان دسترسی به کلن‌های پایدار و سازگار با شرایط خشک کشور از طریق دورگ‌گیری بود.

واژه‌های کلیدی: تلفات، تنوع ژنتیکی، عملکرد، کلن.

مقدمه

دیگر کاربرد داشته و همچنین می‌توانند یک منبع بالقوه انرژی زی‌توده باشد. این جنس بسیار متنوع بوده و گونه‌های مختلف آن در شرایط متفاوت اکولوژیکی خشک تا مرطوب رویش

صنوبر (*Populus* sp.) به عنوان یک جنس درختی تندرست به طور گسترده‌ای برای تولید چوب، خمیر کاغذ و مصارف

دارند (Ragauskas et al., 2006; Perry et al., 2001; Yemshanov & McKenney, 2008). رشد روزافزون تقاضای مصرف چوب در کشور، ضرورت توسعه فناوری چوب و محصولات آن، احیای صنایع و اشتغال‌زایی و درآمدزایی حاصل از چوب از یک سو و محدودیت شدید منابع جنگلی قابل بهره‌برداری کشور، عدم توان تأمین داخلی آن و در نتیجه خروج مقدار قابل توجهی ارز برای واردات چوب در کشور از سوی دیگر، توسعه تولید چوب از طریق زراعت چوب را امری اجتناب‌ناپذیر کرده است. بر اساس گزارش دفتر فنی صنایع چوب سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، سطح صنوبرکاری ایران در سال ۱۳۶۷ معادل ۱۵۰ هزار هکتار با موجودی سرپای چوب حدود ۲۳ میلیون متر مکعب بود (Salari, 1999). سطح صنوبرکاری‌های کشور به‌ویژه در استان‌های غربی مانند همدان، کردستان، کرمانشاه و زنجان در دهه‌های اخیر کاهش محسوسی داشته است (Asadi & Bagheri, 1999; Mirsadaghi, 2001; Yousefi & Modir-Rahmati, 2011). در کنار عامل‌هایی مانند درآمد بیشتر کشت‌های زراعی و حمایت ناچیز از زراعت چوب در مقایسه با حمایت‌ها و برنامه‌های دولت برای محصولات کشاورزی دیگر (تأمین نقدینگی، تأمین نهاده و تضمین خرید)، تنش‌های محیطی از جمله خشک‌سالی‌های مکرر در دهه‌های اخیر در کاهش سطح صنوبرکاری نقش اساسی داشته‌اند (Yousefi & Modir-Rahmati, 2011). تنش آبی یکی از موانع اصلی در تولید محصولات زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران محسوب می‌شود (Askar et al., 2010; Kesahvarznia et al., 2015).

صنوبرها یکی از جنس‌های گیاهی تندرشد مناطق با عرض‌های معتدل هستند، اما نیاز آبی زیادی دارند و تأمین نیاز آبی به‌شدت بر بهره‌وری و عملکرد آنها تأثیر دارد (Tschaplinski et al., 1994; Zsuffa et al., 1996). به‌رغم حساسیت به خشکی در تمام گونه‌های متعلق به صنوبر، تنوع گسترده‌ای در حساسیت به تنش خشکی و سطوح تحمل به خشکی آنها، الگوهای پاسخ آنها به کمبود آب و همچنین در کارایی مصرف آب آنها گزارش شده است (Zhang et al., 2004; Monclus et al., 2006; Marron et al., 2014). برخی گونه‌های صنوبر برای اجتناب از تشدید اثرات خشکی، برگ‌های خود را خزان می‌کنند. برخی دیگر مانند پده (*P. euphratica*) با توسعه و افزایش طول ریشه و جذب آب عمقی، اثرات تنش را کاهش می‌دهند و یا با مکانیسم‌های حفظ جریان آب، تبادل گاز و تورژسانس سلولی، شرایط خشکی را تحمل می‌کنند (Jones, 1993). تغییرات تعداد و ساختار برگ در شرایط خشک‌سالی یکی از پاسخ‌های درختان صنوبر به تنش کم‌آبی است که با کاهش اندازه و تعداد برگ‌ها، خزان و ریزش برگ در شرایط خشکی شدید به‌ویژه در *P. trichocarpa* و *P. deltoides* همراه است (DeBell, 1990). از دست دادن برگ یک واکنش شدید است و اولین پاسخ به کمبود آب، اغلب کاهش رشد برگ است (Niinemets, 2001; Marron et al., 2003).

در پژوهشی، Dickmann و Zhijun (۱۹۹۲) با بررسی پاسخ دو کلن صنوبر دورگ Eugenei و Tristis به تنش‌های محیطی غرقابی و خشکی اعلام کردند که تنش خشکی در کلن Eugenei و تنش غرقابی در کلن Tristis به‌طور قابل توجهی موجب کاهش اندازه برگ (کوچک شدن برگ‌ها) شد. همچنین، تنش خشکی موجب کاهش زی‌توده تنه صنوبر به‌ویژه در کلن Eugenei شد. Ibrahim و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که کمبود نیتروژن و تنش خشکی در صنوبر موجب کاهش رشد، اما تخصیص بیشتر زی‌توده ریشه درخت شد. همچنین، وزن، سطح و تعداد برگ در درختان نیز تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت. Centritto و همکاران (۲۰۱۱) اثرات متقابل دمای زیاد و تنش خشکی را بر تبادل گازی نهال‌های *P. nigra* بررسی و اعلام کردند که تنش خشکی به‌عنوان عملکردی از محتوای آب خاک (SWC) باعث کاهش شدید، اما نه مهار کامل هر دو تنفس نوری و تاریکی در این گونه شد. به‌علاوه، افزایش دما در محیط‌های خشک می‌تواند موجب تشدید اثرات ناشی از تنش آبی شود. Lei و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه برخی پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی دو جمعیت از *P. przewalskii* متعلق به دو نوع آب‌وهوای خشک و مرطوب به تنش خشکی،

زیستی گیاهان مختلف در شرایط تنش خشکی و انتخاب و توسعه کشت گونه‌های مقاوم به خشکی، بهترین روش برای مقابله با این معضل محیط زیستی است.

پژوهش پیش‌رو به‌عنوان یک برنامه به‌نژادی با هدف ارزیابی رشد و تولید ارقام مختلف صنوبر (*P. nigra*) تاج‌بسته در معرض تنش خشکی به‌منظور دستیابی به ارقام با عملکرد بیشتر چوب، سازگارتر با شرایط منطقه و توان تحمل بیشتر خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مربوط به ارزیابی ارقام صنوبر تاج‌بسته تحت شرایط بدون آبیاری (خشکی) در سال هفتم رشد (۱۳۸۶) و دو سال پیش از آن در پوپولتوم سازگاری ارقام صنوبر سنندج در استان کردستان بود. آزمایش با ۱۴ کلن صنوبر تاج‌بسته شامل ۱۱ کلن مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و سه کلن بومی (از شهرستان‌های سقز، سنندج و مریوان) از سال ۱۳۸۰ به‌مدت هفت سال با فاصله کاشت ۳×۳ متر در بخشی از اراضی ایستگاه دام‌پروری واقع در حاشیه رودخانه قشلاق سنندج با ارتفاع ۱۳۵۷ متر از سطح دریا انجام شد. خاک مزرعه لومی - رسی بود و محدودیت خاصی از نظر شوری و اسیدیته نداشت (جدول ۱). بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک سنندج (در فاصله چهار کیلومتری منطقه مورد آزمایش)، میانگین بارندگی سالانه ۴۶۲/۴ میلی‌متر، تبخیر سالانه ۱۳۴۰/۷ میلی‌متر و متوسط رطوبت نسبی ۴۷ درصد است. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۳/۴ و میانگین دمای بیشینه و کمینه به‌ترتیب ۲۱/۴ و ۵/۴ درجه سانتیگراد است (جدول ۲). متوسط تعداد روزهای یخبندان در سال ۱۰۵/۹ روز و متوسط ساعات آفتابی در روز ۷/۸ ساعت (۲۸۶۰ ساعت در سال) است. در بهار و تابستان، بارندگی سالانه بسیار کم (بهار حدود ۲۵ درصد و تابستان کمتر از یک درصد) است. این مسئله، آبیاری صنوبر را در منطقه در فصل رشد الزامی می‌کند. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی با ضریب خشکی (I) معادل ۱۹/۷، بر اساس روش دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک است (Hanafi & Hatami, 2013).

بیان کردند که در هر دو آزمایش اختلاف معنی‌داری در پاسخ به سه رژیم آبیاری وجود داشت. شرایط خشک به‌طور معنی‌داری بر تجمع و پراکندگی زی‌توده تأثیر داشت. همچنین، پاسخ‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی بین دو جمعیت مشاهده شد. در جمعیت صنوبر متعلق به آب‌وهوای خشک در مقایسه با جمعیت آب‌وهوای مرطوب، انباشت ماده خشک در اندام‌های هوایی کمتر بود. همچنین، این گونه زی‌توده بیشتری را به‌منظور تحمل تنش خشکی به سیستم‌های ریشه اختصاص داد. واکنش ریخت‌شناسی اولیه درختان صنوبر به تنش خشکی در هر دو جمعیت به‌صورت تعدیل سرعت رشد گیاه مانند کاهش ارتفاع شاخه، قطر پایه و کل ماده خشک مشاهده شد. در پژوهش دیگری، اثر خشکی بر دو گونه *P. nigra* و *P. alba* در شرایط گلخانه‌ای بررسی و مشاهده شد که ارتباط خطی معنی‌داری بین فتوسنتز خالص و پتانسیل آب برگ وجود دارد (Li & Kakubari, 2001). همچنین، مطالعه کلن‌های مختلف *P. euramericana* تحت تنش آبی نشان داد که پس از ۲۹ روز خشکی، روزنه‌ها بسته شد و رشد کاهش پیدا کرد (Marron et al., 2002). Saeidi و Azadfar (۲۰۰۹) سه گونه مختلف صنوبر شامل *P. euramericana* 476، *P. deltoids* 63.51 و *P. nigra* 64.13 را از نظر تأثیر تنش‌های غرقابی و خشکی بر نرخ خالص فتوسنتز و درصد زنده‌مانی مقایسه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تنش آبی باعث کاهش نرخ فتوسنتز خالص و درصد زنده‌مانی نهال‌های صنوبر نسبت به شاهد شد. همچنین، *P. euramericana* 476 از نظر نرخ فتوسنتز خالص و درصد زنده‌مانی نسبت به دو گونه دیگر در شرایط تنش‌های خشکی و غرقابی موفق‌تر بود و مقاومت آن به تنش غرقابی بیشتر از تنش خشکی بود، اما دو گونه دیگر مقاومت بیشتری را به تنش خشکی نسبت به تنش غرقابی از خود نشان دادند. Shaban و همکاران (۲۰۰۷)، *P. nigra* را با ۱۸ گونه درختی دیگر از نظر حساسیت به خشکی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که این گونه نسبت به *P. alba* مقاوم‌تر بود، اما نسبت به بید مقاومت کمتری در برابر خشکی داشت. بر اساس نظر Rampino و همکاران (۲۰۰۶)، شناخت واکنش‌های

جدول ۱- ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش سازگاری ارقام صنوبر

عمق نمونه (سانتی متر)	درصد اشباع	هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی متر مربع)	اسیدپتته گل اشباع	درصد مواد خنثی شونده	درصد کربن آلی	درصد ازت کل	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	درصد رس	درصد شن	بافت
۰-۳۰	۵۳/۴۹	۳۹۴	۸/۳۱	۲/۲۵	۱/۰۹	۰/۰۵	۱۷۰	۳۰/۶	۴۵/۴	۲۴	لومی رسی
۳۰-۶۰	۴۳/۹۴	۴۰۵	۸/۲۸	۴/۲۵	۰/۶۴	۰/۰۴	۱۴	۳۰/۶	۴۰	۲۹	لومی رسی

جدول ۲- ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش سازگاری ارقام صنوبر در سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۶

عامل اقلیمی	سال	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	سالانه	میانگین بلندمدت سالانه
متوسط دمای کمینه (سانتیگراد)	۱۳۸۴	-۲/۸	-۰/۸	۱/۶	۴/۲	۸/۹	۱۲/۴	۱۶/۶	۲۰	۱۲/۷	۷/۲	۱/۷	-۰/۸	۶/۸	
	۱۳۸۵	-۸/۵	-۲/۴	-۰/۴	۵/۴	۹/۳	۱۲	۱۷/۶	۱۹/۳	۱۲/۹	۹/۱	۳/۹	-۳/۳	۶/۲	۵/۴
	۱۳۸۶				۴/۲	۸/۶	۱۳/۷	۱۹/۴	۲۰/۸	۱۳/۵					
متوسط دمای بیشینه (سانتیگراد)	۱۳۸۴	۵/۶	۱۰/۶	۱۷/۶	۱۹	۲۴/۸	۳۱/۶	۳۷/۸	۳۸/۱	۳۴/۴	۲۸/۳	۱۶/۹	۱۵/۱	۲۳/۳	
	۱۳۸۵	۱/۱	۸/۳	۱۲/۹	۱۹/۹	۲۳/۸	۳۳/۸	۳۷/۵	۳۸/۳	۳۴/۹	۲۷	۱۵	۷/۶	۲۱/۷	۲۱/۴
	۱۳۸۶				۱۵/۵	۲۴/۴	۳۳/۳	۳۷	۳۷	۳۵					
متوسط دمای میانگین (سانتیگراد)	۱۳۸۴	۱/۴	۴/۹	۹/۶	۱۱/۶	۱۶/۹	۲۲	۲۷/۲	۲۹	۳۵/۵	۱۷/۷	۹/۳	۷/۲	۱۵	
	۱۳۸۵	-۳/۷	۲/۹	۶/۲	۱۲/۶	۱۶/۵	۲۲/۹	۲۷/۵	۲۸/۸	۲۳/۹	۱۸/۱	۹/۵	۲/۲	۱۴	۱۳/۴
	۱۳۸۶				۹/۸	۱۶/۵	۲۳/۵	۲۸/۲	۲۸/۹	۲۴/۳					
مجموع بارش ماهانه (میلی متر)	۱۳۸۴	۴۸/۷	۴۷/۶	۱۸/۶	۱۷/	۲۷/۳	۳/۶	۲۸/۸	۶۵/۵	۲۴۸/۱	
	۱۳۸۵	۴۶/۵	۴۷/۶	۵۲/۲	۹۲/۴	۵۵/۱	۰/۱	.	.	.	۳۲/۸	۱۱۶/۴	۶/۹	۴۵۰	۴۶۲/۴
	۱۳۸۶				۱۱۹/۵	۶۲/۴	۱۴/۵	۳/۵	۱/۳	.	.				

خشک‌شده بر کل درختان کرت محاسبه شد و گروه‌بندی کلن‌ها بر اساس مقدار خسارت انجام شد.

تجزیه واریانس داده‌های ثبت‌شده بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن انجام شد. برای پی بردن به روابط بین صفات و تلفات خشکی، ضریب همبستگی پیرسون بین آن‌ها برآورد شد. برای گروه‌بندی کلن‌ها بر مبنای صفات مورد بررسی، بر روی داده‌ها تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش طبقه‌بندی (Hierarchic) با استفاده از فرآیند تجمعی (Agglomeration) و ادغام گروه‌ها برحسب متوسط مجذور فاصله اقلیدسی گروه‌ها (Groupe average linkage) با استفاده از داده‌های استانداردشده (کسر از میانگین، تقسیم بر انحراف معیار) اعمال شد و درختواره مربوطه ترسیم شد. همچنین، به منظور تمایز بهتر ارقام صنوبر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی بر داده‌ها انجام شد و نمودار مربوطه (Bi-Plot) بر اساس دو مؤلفه اول و دوم ترسیم شد.

نتایج

آماره‌های توصیفی (کمینه، بیشینه و میانگین) صفات مورد بررسی برای کلن‌های صنوبر طی سه سال انتهایی آزمایش (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶) در جدول ۳ ارائه شده است. دامنه تغییرات صفات مورد بررسی در دو سال منتهی به تنش خشکی (۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) اختلاف زیادی با یکدیگر نداشتند، به طوری که دامنه تغییرات صفت قطر برابر سینه در هر دو سال، ۱۶/۵ سانتی‌متر، ارتفاع درخت به ترتیب ۷/۸ و ۸/۲ متر و حجم کل چوب به ترتیب ۱۷۷/۳ و ۲۰۸/۷ متر مکعب در هکتار در ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ بود، اما در سال در معرض تنش خشکی (۱۳۸۶)، دامنه تغییرات برای صفات قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم کل چوب به ترتیب ۱۸ سانتی‌متر، ۱۰/۵ متر و ۲۸۷/۸ متر مکعب در هکتار بود که نسبت به سال‌های غیرتنشی افزایش نشان داد. همچنین، اختلاف بین میانگین دو سال عادی (۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) برای صفات قطر برابر سینه،

کاشت نهال‌های ساقه و ریشه یک‌ساله کلن‌های صنوبر در تاریخ یازدهم فروردین ۱۳۸۱ در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. از هر کلن و در هر تکرار، ۲۵ اصله نهال یکنواخت به صورت گروهی ۵×۵ با فاصله ۳×۳ متر کاشته شد که از نه درخت میانی، آماربرداری انجام شد و بقیه به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. عملیات داشت مانند آبیاری منظم با استفاده از آب رودخانه قشلاق سنندج (هر هفته یک‌بار)، وجین (چند نوبت در سال)، خاک‌دهی پای نهال‌ها، هرس (تا ارتفاع دو متری در سال ۱۳۸۳) و غیره طی دوره آزمایش به صورت یکنواخت برای تمام تکرارها و کلن‌ها اعمال شد. در ابتدای سال ۱۳۸۶ به دلیل عدم امکان تأمین آب تا دهم تیرماه، نهال‌ها به شدت تحت تنش خشکی قرار گرفتند. اندازه‌گیری صفات مورد بررسی (رشد قطری و ارتفاعی) به تفکیک کرت، تکرار، کلن در هر سال و در آخر شهریورماه انجام شد. آماربرداری از ویژگی‌های مورد نظر هر سال به صورت یکنواخت و هم‌زمان برای کلیه تیمارها و تکرارها انجام شد. حجم چوب تولیدی در هر سال با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$V = \pi \times r^2 \times f \times h \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: V حجم چوب درخت، r شعاع درخت، h ارتفاع درخت و f ضریب شکل است که ۰/۵ در نظر گرفته شد.

قطر تاج درخت با اندازه‌گیری دو قطر عمود بر هم و میانگین‌گیری آن‌ها ثبت شد. برای صفات مربوط به برگ مانند وزن و سطح برگ، ۲۰ برگ از بخش میانی درخت در نه درخت اصلی هر کلن و تکرار در شهریورماه برداشت شد. پس از اندازه‌گیری سطح آن‌ها با دستگاه پلانی‌متر دیجیتال بر حسب سانتی‌متر مربع، برگ‌ها خشک و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و میانگین سطح و وزن آن‌ها به عنوان ارزش صفت در کرت مربوطه در نظر گرفته شد. درصد تلفات ناشی از تنش خشکی از تقسیم تعداد درختان

به ترتیب ۲/۴ سانتی متر، ۱/۲ متر و ۳۸/۳ متر مکعب در هکتار بود که برای هر سه صفت افزایش نشان داد.

ارتفاع و حجم چوب به ترتیب ۱/۲ سانتی متر، ۰/۹ متر و ۱۶/۸ متر مکعب در هکتار بود، در حالی که این اختلاف بین سال در معرض تنش خشکی (۱۳۸۵) و سال پیش (۱۳۸۶)

جدول ۳- آماره‌های توصیفی صفات مورد بررسی در ارقام صنوبر تاج‌بسته طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶

صفت	۱۳۸۴			۱۳۸۵			۱۳۸۶		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۳/۵	۲۰	۱۱/۷	۴/۵	۲۱	۱۲/۸۶	۵/۵	۲۳/۵	۱۵/۲۱
ارتفاع درخت (متر)	۳/۷	۱۱/۵۲	۷/۷۱	۴/۴۵	۱۲/۶	۸/۵۸	۲/۶	۱۳/۱	۹/۸۲
حجم کل (متر مکعب)	۲/۴۱	۱۷۹/۷۵	۵۲/۵۳	۴/۸۶	۲۱۳/۵۷	۶۹/۲۹	۸/۵۸	۲۹۶/۳۶	۱۰۷/۵۵

نتیجه مقایسه میانگین صفات طی سال‌های آزمایش (جدول ۴) نشان داد که در سال ۱۳۸۴ کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* با متوسط حجم تراکمی چوب به ترتیب ۹۵/۳۱، ۷۰/۵، ۶۵/۹۷ و ۵۸/۳۵ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌ها بودند. کلن بومی *P. n. Saghez* در این آزمایش جزء کلن‌های با کمترین حجم چوب بود. حجم تراکمی چوب این کلن در سال ۱۳۸۴، ۳۴/۳۴ متر مکعب در هکتار معادل ۰/۳۶ برترین کلن و ۰/۶۵ میانگین کلن‌ها بود. کلن بومی دیگر آزمایش (*P. n. Grizah*) از نظر رویش حجمی با میانگین حجم تراکمی چوب ۵۳/۱۶ متر مکعب در هکتار در سال ۱۳۸۴، ۵۶ درصد برترین کلن و در حد میانگین کلن‌ها ظاهر شد. در سال ششم آزمایش (۱۳۸۵) نیز گروه برتر کلن‌های پر محصول در سال‌های پیشین تکرار شد، به طوری که *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* با متوسط حجم تراکمی چوب به ترتیب ۱۱۸/۹۲، ۹۰/۰۷، ۸۴/۹۰ و ۷۸/۲۸ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌ها بودند. در سال هفتم آزمایش (۱۳۸۶)، کلن *P. n. 56/52* با تولید ۱۵۳/۶۸ متر مکعب چوب در هکتار به جایگاه نخست در بین کلن‌ها رسید و کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* با متوسط حجم تراکمی چوب به ترتیب ۱۴۸/۷۹، ۱۱۹/۸۷ و ۱۱۸/۱۸ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌ها بودند. از نظر سطح و وزن خشک برگ، کلن‌های *P. n. 56/32* و *P. n. 62/140* به ترتیب با ۲۰/۹۷ سانتی متر مربع سطح و ۰/۱۸ گرم وزن خشک برگ دارای بیشترین و کلن *P. n. 62/171* به ترتیب با ۱۲/۵ سانتی متر مربع سطح و ۰/۱۱ گرم وزن خشک برگ دارای کمترین سطح و وزن برگ در بین کلن‌های مورد بررسی بودند. همچنین، کلن *P. n. betulifolia* با میانگین ۲/۱۷ متر، بیشترین و کلن *P. n. 62/149* با میانگین ۱/۲۵ متر، کمترین قطر تاج را داشتند. بر اساس جدول ۴، میانگین رویش حجمی متوسط سالانه کلن‌های آزمایش در دوره عادی آزمایش (تا سال ۱۳۸۵) ۱۳/۸۲ متر مکعب در هکتار و در سال بود. تا این مرحله کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* به ترتیب با میانگین ۲۳/۷۸، ۱۸/۰۱، ۱۶/۹۸ و ۱۵/۶۶ متر مکعب در هکتار در سال برترین کلن‌ها بودند. در سال ۱۳۸۶ و شرایط تنش خشکی نیز همان کلن‌ها اما با آرایش جدید به صورت *P. n. 56/52*، *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* به ترتیب با میانگین‌های ۲۵/۶۱، ۲۴/۸، ۱۹/۹۸ و ۱۹/۷ متر مکعب در هکتار و در سال، برترین کلن‌های آزمایش از نظر رویش حجمی بودند. مقدار آسیب‌پذیری از تنش‌های محیطی اتفاق افتاده (تنش‌های خشکی، گرما و هجوم چوب‌خوار *Melanophylla picta*) در بین کلن‌ها تنوع قابل ملاحظه‌ای را نشان داد، به طوری که در برخی کلن‌ها مانند *P. n. M* و *P. n. 42/53* درصد تلفات صفر بود، اما در برخی مانند *P. n. 63/135* نزدیک به ۵۰ درصد کلن‌ها از بین رفتند. درصد تلفات کلن‌های *P. n. 56/52*، *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* به ترتیب ۲۵/۹۳، ۲۹/۶۳، ۴۰/۷۴ و ۴۸/۱۵ درصد بود (جدول ۴).

نتیجه مقایسه میانگین صفات طی سال‌های آزمایش (جدول ۴) نشان داد که در سال ۱۳۸۴ کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* با متوسط حجم تراکمی چوب به ترتیب ۹۵/۳۱، ۷۰/۵، ۶۵/۹۷ و ۵۸/۳۵ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌ها بودند. کلن بومی *P. n. Saghez* در این آزمایش جزء کلن‌های با کمترین حجم چوب بود. حجم تراکمی چوب این کلن در سال ۱۳۸۴، ۳۴/۳۴ متر مکعب در هکتار معادل ۰/۳۶ برترین کلن و ۰/۶۵ میانگین کلن‌ها بود. کلن بومی دیگر آزمایش (*P. n. Grizah*) از نظر رویش حجمی با میانگین حجم تراکمی چوب ۵۳/۱۶ متر مکعب در هکتار در سال ۱۳۸۴، ۵۶ درصد برترین کلن و در حد میانگین کلن‌ها ظاهر شد. در سال ششم آزمایش (۱۳۸۵) نیز گروه برتر کلن‌های پر محصول در سال‌های پیشین تکرار شد، به طوری که *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* با متوسط حجم تراکمی چوب به ترتیب ۱۱۸/۹۲، ۹۰/۰۷، ۸۴/۹۰ و ۷۸/۲۸ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌ها بودند. در سال هفتم آزمایش (۱۳۸۶)، کلن *P. n. 56/52* با تولید ۱۵۳/۶۸ متر مکعب چوب در هکتار به جایگاه نخست در بین کلن‌ها رسید و کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* با متوسط حجم تراکمی چوب به ترتیب ۱۴۸/۷۹، ۱۱۹/۸۷ و ۱۱۸/۱۸ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌ها بودند. از نظر سطح و وزن خشک برگ، کلن‌های *P. n. 56/32* و *P. n. 62/140* به ترتیب با ۲۰/۹۷ سانتی متر مربع سطح و ۰/۱۸ گرم وزن خشک برگ دارای بیشترین و کلن *P. n. 62/171* به ترتیب با ۱۲/۵ سانتی متر مربع سطح و ۰/۱۱ گرم وزن خشک برگ دارای کمترین سطح و وزن برگ در بین کلن‌های مورد بررسی بودند. همچنین، کلن *P. n. betulifolia* با میانگین ۲/۱۷ متر، بیشترین و کلن *P. n. 62/149* با میانگین ۱/۲۵ متر، کمترین قطر تاج را داشتند. بر اساس جدول ۴، میانگین رویش حجمی متوسط سالانه کلن‌های آزمایش در دوره عادی آزمایش (تا سال ۱۳۸۵) ۱۳/۸۲ متر مکعب در هکتار و در سال بود. تا این مرحله کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* به ترتیب با میانگین ۲۳/۷۸، ۱۸/۰۱، ۱۶/۹۸ و ۱۵/۶۶ متر مکعب در هکتار در سال برترین کلن‌ها بودند. در سال ۱۳۸۶ و شرایط تنش خشکی نیز همان کلن‌ها اما با آرایش جدید به صورت *P. n. 56/52*، *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* به ترتیب با میانگین‌های ۲۵/۶۱، ۲۴/۸، ۱۹/۹۸ و ۱۹/۷ متر مکعب در هکتار و در سال، برترین کلن‌های آزمایش از نظر رویش حجمی بودند. مقدار آسیب‌پذیری از تنش‌های محیطی اتفاق افتاده (تنش‌های خشکی، گرما و هجوم چوب‌خوار *Melanophylla picta*) در بین کلن‌ها تنوع قابل ملاحظه‌ای را نشان داد، به طوری که در برخی کلن‌ها مانند *P. n. M* و *P. n. 42/53* درصد تلفات صفر بود، اما در برخی مانند *P. n. 63/135* نزدیک به ۵۰ درصد کلن‌ها از بین رفتند. درصد تلفات کلن‌های *P. n. 56/52*، *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* به ترتیب ۲۵/۹۳، ۲۹/۶۳، ۴۰/۷۴ و ۴۸/۱۵ درصد بود (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی ارقام مختلف صنوبر تاج‌بسته در طی سال‌های مختلف با آزمون دانکن

درصد تلفات ناشی از خشکی	رویش حجمی متوسط سالانه ♣ (متر مکعب / هکتار / سال)	سال تنش خشکی			رویش حجمی متوسط سالانه ♣ (متر مکعب / هکتار / سال)	سال‌های عادی آزمایش							کلن			
		۱۳۸۶				۱۳۸۵			۱۳۸۴							
		حجم کل (متر مکعب / هکتار)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)		حجم کل (متر مکعب / هکتار)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)	رویش حجمی جاری (متر مکعب / هکتار)	قطر تاج (متر)	وزن خشک برگ (گرم)	سطح برگ (سانتی متر مربع)		حجم کل (متر مکعب / هکتار)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)
۷/۶۹	۱۷/۹۲	۱۰۷/۵۲	۱۰/۱۷	۱۴/۸۵	۱۳/۱۷	۶۵/۸۳	۸/۸۷	۱۱/۹۹	۳۰/۴۲	۱/۹۲	۰/۱۴	۱۴/۶۱	۴۸/۵۸	۷/۷۸	۱۰/۹۶	<i>P. n. 56/72</i>
.	۱۲/۸۷	۷۷/۲۱	۸/۸۹	۲۳/۱۳	۹/۴۲	۴۶/۷۴	۷/۳۹	۱۱	۲۰/۶۱	۲/۱	۰/۱۴۷	۱۶/۷۶	۳۱/۴۵	۶/۲۸	۹/۷۵	<i>P. n. M**</i>
۵	۱۸/۹۴	۱۱۳/۶۲	۱۰/۱۸	۱۵/۵	۱۳/۹۲	۶۹/۵۸	۸/۵۷	۱۲/۶۹	۳۳/۶۱	۱/۵۹	۰/۱۷	۲۰/۹۷	۵۳/۴۸	۷/۶۵	۱۱/۶۳	<i>P. n. 56/32</i>
۴۸/۱۵	۱۹/۷	۱۱۸/۱۸	۱۰/۰۱	۱۶	۱۵/۶۶	۷۸/۲۸	۸/۷۹	۱۳/۶۳	۳۸/۵۵	۱/۹۶	۰/۱۳	۱۴/۰۶	۵۸/۳۵	۷/۸۷	۱۲/۳۵	<i>P. n. 63/135</i>
۲۹/۶۳	۲۴/۸	۱۴۸/۷۹	۹/۹۴	۱۸/۲۸	۲۳/۷۸	۱۱۸/۹۲	۹/۸۴	۱۶/۵	۵۴/۸۲	۱/۶۶	۰/۱۴	۱۴/۹۸	۹۵/۳۱	۹/۰۲	۱۵/۴۳	<i>P. n. 56/75</i>
۷/۴۱	۱۸/۲۱	۱۰۹/۲۶	۱۰/۰۸	۱۵/۵	۱۴/۴۹	۷۲/۴۵۳	۸/۷۸	۱۳/۵۳	۳۱/۱	۲/۱۷	۰/۱۵	۱۵/۵۳	۵۴/۵۱	۷/۹۶	۱۲/۲۹	<i>P. n. betulifolia</i>
۲۳/۰۸	۱۷/۲۲	۱۰۳/۳۱	۹/۵۱	۱۴/۷۱	۱۳/۵۶	۶۷/۸۱	۸/۷۶	۱۲/۵۳	۳۵/۸۳	۱/۲۵	۰/۱۳	۱۳/۰۲	۵۱/۵۰۶	۷/۹۸	۱۱/۱۷	<i>P. n. 62.149</i>
.	۱۶/۱۵	۹۶/۹۲	۹/۹۳	۱۴/۵۶	۹/۵۳	۴۷/۶۵	۷/۵۲	۱۱/۶۶	۲۲/۰۳	۱/۶۹	۰/۱۴	۱۴/۷۳	۳۵/۱۶۳	۶/۶۶	۱۰/۵۸	<i>P. n. 42/53</i>

درصد تلفات ناشی از خشکی	رویش حجمی متوسط سالانه ♣ (متر مکعب / هکتار / سال)	سال تنش خشکی			رویش حجمی متوسط سالانه ♣ (متر مکعب / هکتار / سال)	سال‌های عادی آزمایش							کلن			
		۱۳۸۶				۱۳۸۵			۱۳۸۴							
		حجم کل (متر مکعب / هکتار)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)		حجم کل (متر مکعب / هکتار)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)	رویش حجمی جاری (متر مکعب / هکتار)	قطر تاج (متر)	وزن خشک برگ (گرم)	سطح برگ (سانتی متر مربع)		حجم کل (متر مکعب / هکتار)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)
۲۵/۹۳	۲۵/۶۱	۱۵۳/۶۸	۱۰/۶۱	۱۷/۸۷	۱۶/۹۸	۸۴/۹۰۱	۹/۵۹	۱۳/۸	۳۴/۷۷	۱/۶۹	۰/۱۶	۱۸/۳۱	۶۵/۹۷	۸/۸۲	۱۲/۶	<i>P. n. 56/52</i>
		a	a	a		bc	ab	bc		d	ab	ab	bc	ab	bc	
۴۰	۱۵/۲۹	۹۱/۷۶	۹/۴۱	۱۴/۵۴	۱۱/۹۱	۵۹/۵۷	۸/۱۴	۱۲/۳۶	۲۸/۷۲	۱/۳۹	۰/۱۳	۱۳/۰۱	۴۴/۱۲۹	۷/۲۶	۱۱/۲۴	<i>P. n. 62/154</i>
		cde	cd	bcd		efg	de	cdef		f	ab	bc	defg	def	cd	
۴۰/۷۴	۱۹/۹۸	۱۱۹/۸۷	۱۰/۵۳	۱۵/۷۳	۱۸/۰۱	۹۰/۰۷	۹/۱۰	۱۴/۷۱	۴۰/۴۵	۱/۴۱	۰/۱۸	۱۷/۹	۷۰/۵۰۴	۸/۲۶	۱۳/۶۲	<i>P. n. 62/140</i>
		b	a	b		b	bc	b		ef	a	abc	b	abc	b	
۱۴/۸۱	۱۲/۹	۷۷/۴۲	۹/۳۳	۱۳/۵۲	۱۰/۱۷	۵۰/۸۳	۷/۸۳	۱۲/۰۵	۲۱/۳۶	۱/۳۹	۰/۱۱	۱۲/۵	۳۷/۲۸۵	۷/۱۲	۱۰/۷۸	<i>P. n. 62/171</i>
		e	cd	cd		fg	ef	defg		f	b	c	efg	defg	cd	
۱۴/۸۱	۱۴/۲۳	۸۵/۳۵	۹	۱۳/۶۲	۹/۲۷	۴۶/۳۷	۷/۵۵	۱۰/۹	۱۹/۷۷	۱/۷۹	۰/۱۷	۱۷/۴۷	۳۴/۳۴۱	۶/۸۳	۹/۷۵	<i>P. n. Saghez</i>
		de	d	cd		g	ef	g		cd	ab	abc	fg	efg	d	
۲۹/۶۳	۱۶/۹۹	۱۰۱/۹	۹/۸۷	۱۵/۰۲	۱۳/۶۶	۶۸/۲۸	۹/۲۷	۱۲/۴۶	۳۲/۱۷	۱/۷۱	۰/۱۳	۱۵/۱۱	۵۳/۱۶۱	۸/۴	۱۱/۴۶	<i>P. n. Grizah</i>
		bcd	abc	bc		cdef	abc	cdef		d	ab	bc	bcdef	abc	cd	
۲۰/۴۹	۱۷/۹۱	۱۰۷/۵	۹/۸۲	۱۵/۲۱	۱۳/۸۲	۶۹/۲۹	۸/۵۸	۱۲/۸۶	۳۱/۷۳	۱/۷	۰/۱۴	۱۵/۶۴	۵۲/۵۳	۷/۷۱	۱۱/۷	میانگین کلن‌ها

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد با یکدیگر نشان ندادند.

** *P. n. M* جزء کلن‌های تاج‌بسته با منشاء شهرستان مریوان در استان کردستان بود.

♣ در محاسبه رویش حجمی متوسط سالانه، عملکرد سال ۱۳۸۰ (سال کشت قلمه و تولید نهال) منظور نشد و با احتساب ۱۱۱۱ درخت در هکتار رویش متوسط محاسبه شد.

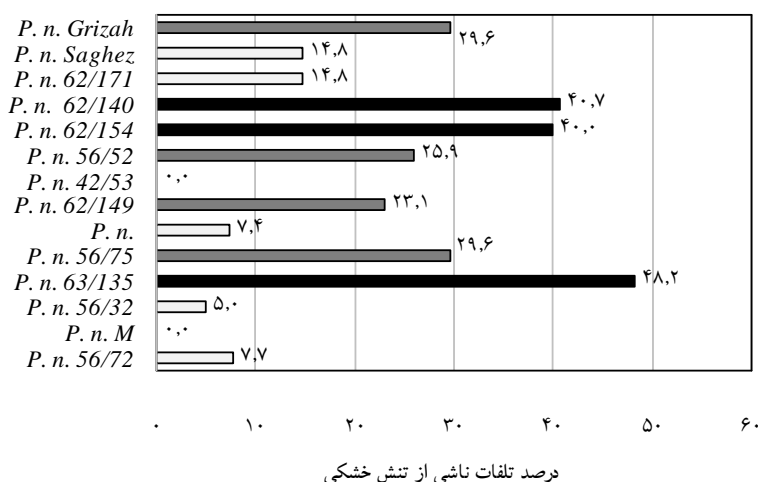
کلن‌های *P. n.* 56/75، *P. n.* 56/52، *P. n.* 62/149 و *P. n.* Grizah

گروه چهارم: خسارت زیاد (بیشتر از ۳۰ درصد) شامل کلن‌های *P. n.* 63/135 و *P. n.* 62/140، *P. n.* 62/154 درصد تلفات فقط با متغیر قطر برابر سینه رابطه مثبت و معنی‌دار ($p < 0.05$) نشان داد. در مجموع، رابطه درصد تلفات با سطح برگ، قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم چوب درخت مثبت و با وزن برگ و قطر تاج منفی بود (جدول ۵).

کلن‌های صنوبر از نظر درصد تلفات در چهار گروه به شرح زیر دسته‌بندی شدند (شکل ۱):

گروه اول: خسارت ناچیز (صفر تا پنج درصد) شامل کلن‌های *P. n.* 42/53 و *P. n.* M
گروه دوم: خسارت کم (پنج تا ۱۵ درصد) شامل کلن‌های *P. n.* 56/72، *P. n.* betulifolia، *P. n.* 56/32 و *P. n.* Saghez و *n.* 62/171

گروه سوم: خسارت متوسط (۱۵ تا ۳۰ درصد) شامل



شکل ۱- میانگین درصد تلفات ناشی از خشکی در کلن‌های صنوبر در سال ۱۳۸۶

جدول ۵- ضریب‌های همبستگی صفات مورد بررسی و درصد تلفات ناشی از خشکی

صفت	سطح برگ	وزن برگ	قطر تاج	قطر برابر سینه	ارتفاع	حجم چوب
درصد تلفات	۰/۲۴ ^{ns}	-۰/۰۷ ^{ns}	-۰/۳۶ ^{ns}	۰/۵۴ [*]	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۵۲ ^{ns}

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ^{ns} غیرمعنی‌دار

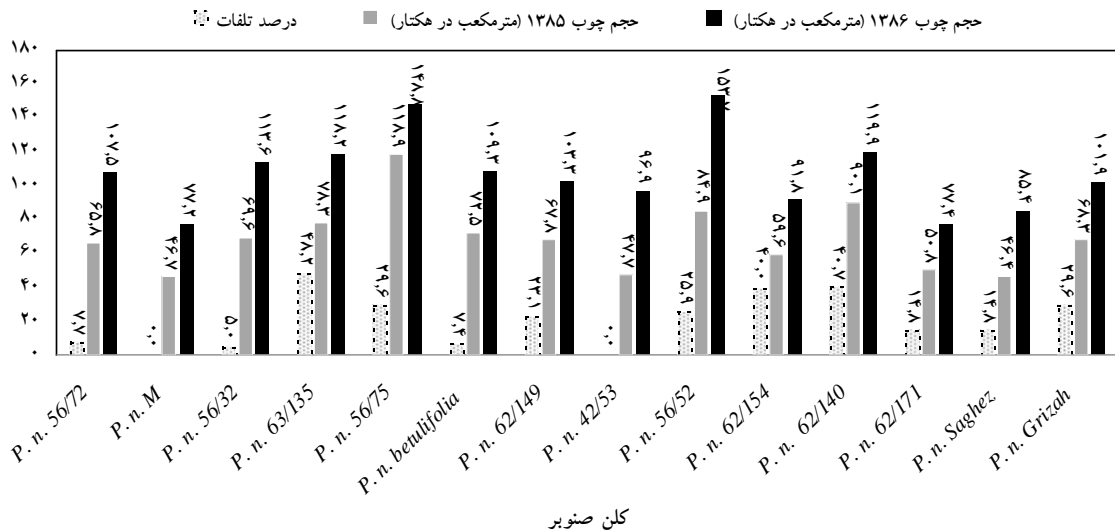
صفات مورد بررسی در سطح شباهت حدود ۷۹ درصد به پنج دسته به شرح زیر تفکیک شدند:

گروه اول: کلن‌های *P. n.* 56/72، *P. n.* betulifolia، *P. n.* 63/135، *P. n.* Grizah، *P. n.* 62/149، *P. n.* 62/154، *P. n.* 62/171 و *P. n.* 56/32 با درجه‌های خسارت کم تا زیاد ناشی از تنش خشکی، عملکرد چوب متفاوت (کم تا زیاد)

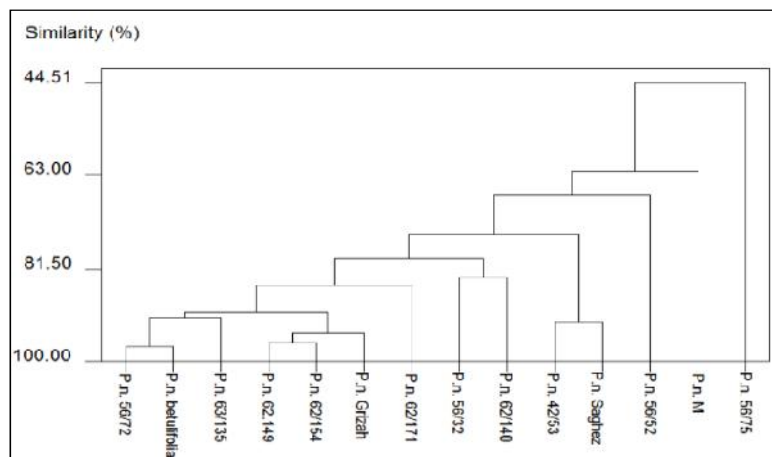
مطابق شکل ۲، کلن‌هایی که از نظر عملکرد چوب برتری داشتند، خسارت ناشی از تنش خشکی در آن‌ها متوسط تا زیاد بود و عملکرد چوب کلن‌های بدون خسارت (*P. n.* 42/53 و *P. n.* M) کمتر از میانگین کلن‌ها بود. دو کلن بدون خسارت از تنش خشکی پس از وقوع تنش خشکی به ترتیب جهش رشد قطری و ارتفاعی نشان دادند. نتایج تجزیه خوشه‌ای، در درخت‌واره مربوطه (شکل ۳) خلاصه شده است. مطابق آن، کلن‌های صنوبر بر اساس

گروه چهارم: کلن *P. n. M* بدون خسارت از تنش خشکی، عملکرد چوب کمتر از میانگین کلن‌ها
گروه پنجم: کلن *P. n. 56/75* با خسارت متوسط ناشی از خشکی، عملکرد چوب زیاد

گروه دوم: کلن‌های *P. n. 42/53* و *P. n. Saghez* با خسارت ناچیز تا کم ناشی از خشکی، عملکرد چوب کمتر از میانگین کلن‌ها
گروه سوم: کلن *P. n. 56/52* با خسارت متوسط ناشی از خشکی، عملکرد چوب زیاد



شکل ۲- میانگین حجم چوب درختان صنوبر در سال عادی (۱۳۸۵) و سال تنش خشکی (۱۳۸۶) و درصد تلفات ناشی از خشکی



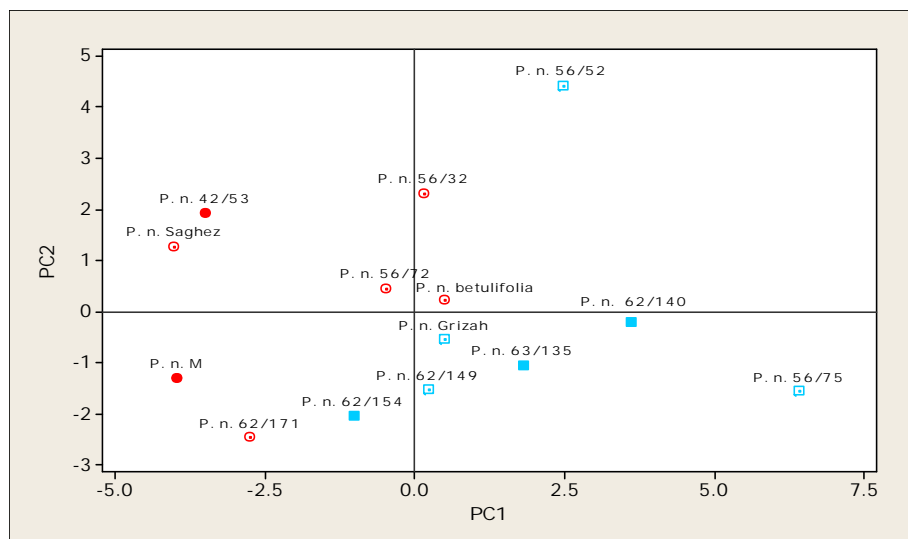
شکل ۳- درخت‌واره تجزیه خوشه‌ای ارقام صنوبر

واریانس کل به ترتیب ۵۰ و ۲۱ درصد، در مجموع ۷۱ درصد کل واریانس را پوشش دادند. مطابق نمودار تجزیه

بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اول و دوم با مقادیر ویژه به ترتیب ۹/۰۲ و ۳/۷۳ و سهم از

دوم را داشتند، اما کلن‌های با درصد بیشتر خسارت ناشی از خشکی برعکس بودند.

به مؤلفه‌های اصلی (شکل ۴)، کلن‌های با درصد کمتر خسارت ناشی از تنش خشکی به‌طور عمده مقادیر کوچک‌تر (منفی) مؤلفه اول و مقادیر بزرگ‌تر (مثبت) مؤلفه



شکل ۴- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ارقام صنوبر

کاهش رشد برگ و در مراحل پیشرفته خشکی، از دست دادن برگ به‌عنوان یک استراتژی دفاعی شدید است. تنش خشکی دامنه تغییرات صفات رشد قطری، ارتفاعی و حجم کل چوب تولیدی را نیز تحت تأثیر قرار داد و موجب افزایش دامنه تغییرات صفات نسبت به سال‌های غیرتنشی شد. مقدار آسیب‌پذیری نسبت به تنش‌های محیطی اتفاق افتاده (تنش‌های خشکی، گرما و هجوم چوب‌خوار) در بین کلن‌ها، تنوع قابل ملاحظه‌ای نشان داد، به‌طوری‌که در برخی کلن‌ها مانند *P. n. 42/53* و *P. n. M* درصد تلفات صفر بود، اما در برخی مانند *P. n. 63/135* حدود ۵۰ درصد درختان از بین رفتند. میانگین تلفات ناشی از خشکی در کلن‌ها ۲۰/۴۹ درصد با دامنه ۴۸/۱۵ درصد بود. اختلاف در مقدار آسیب‌پذیری می‌تواند نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در مجموعه ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تحمل تنش خشکی باشد و می‌تواند مبنایی مناسب را برای گزینش کلن‌های برتر و در نهایت معرفی آن‌ها فراهم کند. اصولاً صنوبرهای نیگرا با تاج‌بسته، مزیت‌های بسیاری بر گونه‌های

بحث

اگرچه تنش خشکی سال ۱۳۸۶ ناخواسته بود و به‌طور عمده به‌دلیل کمبود اعتبارات برای جذب کارگر و سایر ملزومات رخ داده بود، اما محک مناسبی برای سنجش تحمل کلن‌های صنوبر در برابر تنش خشکی، گرمای شدید و نیز تنش ثانویه حمله آفت چوب‌خوار به‌واسطه ضعف درختان در اثر کم‌آبی در شرایط سنج بود. بر اساس نتایج، تنش خشکی رشد کلن‌های صنوبر را به‌شدت محدود کرد، به‌طوری‌که کلن‌های صنوبر در معرض خشکی نتوانستند سرعت و مقدار رشد بالقوه خود را نشان دهند. برگ درختان صنوبر در اواسط اردیبهشت ۱۳۸۶ زرد و با ادامه تنش در اواسط خرداد دچار ریزش و خزان شد. پژوهش‌های پیشین نیز کاهش وزن، سطح و تعداد برگ (Dickmann & Zhijun, 1992; Ibrahim *et al.*, 1997 Lei *et al.*, 2006). همچنین، Niinemets (۲۰۰۱) و Marron و همکاران (۲۰۰۳) اعلام کردند که اولین پاسخ به کمبود آب،

پیش بود، بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که به‌طور طبیعی کلن‌های قوی‌تر صنوبر، تحمل بیشتری در برابر تنش‌های محیطی دارند. البته بخشی از توان تولید چوب کلن‌ها در حضور تنش به توان ژنتیکی کلن‌ها مربوط است. چنانچه به‌عنوان مثال، کلن *P. n. 56/52* با وجود تنش سال ۱۳۸۶ عملکرد بهتری داشت و رتبه تولید چوب خود را در گروه خود به اول ارتقا داد. نکته نامناسب، درصد به‌نسبت زیاد تلفات در ارقام برتر صنوبر ناشی از خشکی و آفت چوب‌خوار بود. به‌طوری‌که درصد تلفات چهار کلن برتر از نظر تولید چوب یعنی کلن‌های *P. n. 56/52*، *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* به ترتیب ۲۵/۹۳، ۲۹/۶۳، ۴۰/۷۴ و ۴۸/۱۵ درصد بود. کلن‌های مقاوم به خشکی دارای سطح و وزن برگ و نیز عملکرد چوب در حد میانگین کلن‌ها و یا کوچک‌تر از آن بودند. با توجه به رابطه مثبت بین درصد تلفات ناشی از تنش خشکی با صفات سطح برگ، قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم چوب می‌توان گفت که کلن‌های صنوبر با برگ‌های کوچک‌تر توان تحمل خشکی بیشتری نسبت به کلن‌های با برگ‌های بزرگ‌تر داشتند که علت آن احتمالاً به‌دلیل مکانیسم تحمل خشکی با ظرفیت حفظ آب گیاه و کاهش سطح تبخیر باشد.

بر اساس نتایج مربوط به تجزیه خوشه‌ای کلن‌های صنوبر، صفات مورد بررسی به پنج دسته تفکیک شدند، اما گروه‌بندی مشخصی بر اساس درصد تلفات ناشی از تنش خشکی و یا عملکرد چوب نشان ندادند. بر این اساس، دو کلن بدون تلفات خشکی (*P. n. M* و *P. n. 42/53*) در دو گروه دوم و چهارم و دو کلن با عملکرد چوب خوب (*P. n. 56/52* و *P. n. 56/75*) نیز در دو گروه منفک سوم و پنجم قرار گرفتند، اما تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تفکیک آشکارتری از کلن‌های صنوبر ارائه کرد. کلن‌های مقاوم‌تر به خشکی با درصد خسارت کمتر به‌طور عمده مقادیر کوچک‌تر (منفی) مؤلفه اول و مقادیر بزرگ‌تر (مثبت) مؤلفه دوم را داشتند، در حالی‌که کلن‌های حساس‌تر به خشکی دارای مقادیر بزرگ‌تر (مثبت) مؤلفه اول و مقادیر کوچک‌تر (منفی) مؤلفه دوم بودند. کلن‌های با عملکرد چوب بهتر

دیگر برای کشت در بیشتر نواحی ایران دارند (Salari, 1999). در بیشتر مناطق غربی کشور از جمله کردستان، نیگرا دارای قدمت کاشت است. همچنین، قابلیت تطابق با شرایط منطقه از جمله سرما، برف و تحمل خشکی نسبی هوای تابستان را دارد و به‌واسطه نیازهای کمتر، قناعت اکولوژیکی بیشتر و تطابق وسیع‌تر با شرایط منطقه، بر گونه‌های تاج‌باز از جمله دلتوئیدس با نیازهای اکولوژیکی خاص (نیاز آبی بیشتر، تاج‌باز و نیاز به زمین بیشتر و غیره) برتری دارد (Yousefi & Modir-Rahmati, 2011). مطالعات نشان داده که نیگرا تحمل تنش خشکی بیشتری نیز نسبت به دلتوئیدس و حتی اورامریکانا دارد (Saeidi & Azadfar, 2009; Shahban et al., 2009; Marron et al., 2014).

یک نکته منفی، هم‌زمانی تنش خشکی با افزایش دمای محیط (تنش گرمایی) بود. مطابق جدول ۲، اگرچه متوسط دمای فروردین و اردیبهشت ۱۳۸۶ (به ترتیب ۹/۸ و ۱۶/۵ درجه سانتیگراد) به تقریب معادل زمان مشابه سال‌های پیش بود، اما متوسط دمای خرداد و تیر (به ترتیب ۲۳/۵ و ۲۸/۲ درجه سانتیگراد) حدود یک درجه بیشتر از متوسط دمای ماه‌های مشابه سال‌های پیش بود. بر اساس نظر Centritto و همکاران (۲۰۱۱)، همین موضوع موجب تشدید اثرات ناشی از تنش خشکی شد. همچنین، تنش خشکی موجب ضعف شدید درختان و در نتیجه مساعد شدن زمینه حمله گسترده آفت چوب‌خوار شد. بر اساس نتایج، تا مرحله تنش خشکی، کلن‌های *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140*، *P. n. 56/52* و *P. n. 63/135* به ترتیب با میانگین ۱۸/۰۱، ۱۶/۹۸ و ۱۵/۶۶ متر مکعب در هکتار در سال، برترین کلن‌ها بودند. در سال ۱۳۸۶ و شرایط اعمال تنش خشکی نیز همان چهار کلن اما با آرایش جدید به صورت *P. n. 56/52*، *P. n. 56/75*، *P. n. 62/140* و *P. n. 63/135* به ترتیب با میانگین حجم سالانه ۲۵/۶۱، ۲۴/۸، ۱۹/۹۸ و ۱۹/۷ متر مکعب در هکتار برترین کلن‌های تاج‌بسته بودند. تنش خشکی سال ۱۳۸۶ فقط ترتیب کلن‌های برتر سال‌های پیشین را تغییر داد، اما ترکیب کلن‌های برتر همانند سال‌های

- respiration and photosynthesis to high growth temperature coupled with drought stress in black poplar (*Populus nigra*) saplings. *Tree Physiology*, 31(3): 275-286.
- DeBell, D.S., 1990. *Populus trichocarpa* Torr. & Gray black cottonwood: 570-576. In: Burns, R.M. and Honkala, B.H. (Eds.). *Silvics of North America: Volume 2, Hardwoods*. Agriculture Handbook 654. USDA Forest Service, Washington, DC, 877p.
- Hanafi, A. and Hatami, I., 2013. Preparation of Kurdistan province climate map using geographic information systems. *Sepehr*, 22(87): 24-28 (In Persian).
- Ibrahim, L., Proe, M.F. and Cameron, A.D., 1997. Main effects of nitrogen supply and drought stress upon whole-plant carbon allocation in poplar. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(9): 1413-1419.
- Kesahvarznia, R., Shahbazi, M., Mohammadi, V., Hosseini Salekdeh, Gh., Ahmadi, A. and Mohseni-Fard, E., 2015. The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(4): 553-563 (In Persian).
- Jones, H.G., 1993. Drought tolerance and water-use efficiency: 193-203. In: Smith, J.A.C. and Griffiths, H. (Eds.). *Water deficits: Plant Responses From Cell To Community*. Bios Scientific Publishers, Oxford, UK, 345p.
- Lei, Y., Yin, C. and Li, C., 2006. Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*, 127(2): 182-191.
- Li, X.M. and Kakubari, Y., 2001. Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence of two poplars under water stress. *Journal of Forest Research*, 6(3): 211-215.
- Marron, N., Delay, D., Petit, J.M., Dreyer, E., Kahlem, G., Delmotte, F.M. and Brignolas, F., 2002. Physiological traits of two *Populus × euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiology*, 22(12): 849-858.
- Marron, N., Dreyer, E., Boudouresque, E., Delay, D., Petit, J.M. and Delmotte, F.M., 2003. Impact of successive drought and re-watering cycles on growth and specific leaf area of two *Populus × canadensis* (Moench) clones, 'Dorskamp' and 'Luisa_Avanzo'. *Tree Physiology*, 23(18): 1225-1235.
- Marron, N., Gielen, B., Brignolas, F., Gao, J., Johnson, J.D., Karnosky, D.F., Polle, A., Scarascia-Mugnozza, G., Schroeder, W.R. and Ceulemans, R., به‌طور عمده در ناحیه چهار نمودار (ناحیه با PC1 مثبت و PC2 منفی) قرار گرفتند که علاوه بر نشان دادن تأثیر منفی تنش خشکی بر عملکرد چوب و اجزای آن مانند قطر و ارتفاع درخت، بیانگر دخالت عامل‌های ژنتیکی در کنترل تحمل تنش خشکی در کلن‌های تاج‌بسته مورد مطالعه بودند. این نتایج، نوید امکان دسترسی به کلن یا کلن‌های پایدار و سازگار با شرایط خشک کشور را از طریق دورگ‌گیری می‌دهد.
- در مجموع، خشکی موجب زردی و خزان برگ‌ها، حمله آفت چوب‌خوار و در نهایت خشک شدن تعدادی از درختان و محدودیت رشد درختان باقیمانده شد، به‌طوری‌که درختان در معرض خشکی نتوانستند سرعت و رشد بالقوه خود را نشان دهند. پاسخ به تنش خشکی در بین کلن‌های صنوبر تنوع قابل ملاحظه‌ای نشان داد، به‌طوری‌که در برخی کلن‌ها درصد تلفات صفر و در برخی حدود ۵۰ درصد بود. در بین کلن‌های صنوبر مورد بررسی، کلن‌های *P. n.* 56/52 و *P. n.* 56/75 با عملکرد چوب به‌ترتیب ۲۵/۶۱ و ۲۴/۸ متر مکعب در هکتار و در سال و درصد خسارت متوسط ناشی از خشکی (۲۵ تا ۳۰ درصد) جزء کلن‌های دارای بیشترین تولید چوب و به‌نسبت مقاوم به خشکی بودند. نتایج تحلیل‌های آماری، تأثیر منفی تنش خشکی را بر عملکرد چوب و اجزای آن نشان دادند، بدین‌صورت که کلن‌های کوچک‌تر و دارای تعداد و اندازه برگ کمتر با ظرفیت حفظ آب گیاه و کاهش سطح تبخیر، قابلیت تحمل خشکی بیشتری داشتند.

References

- Asadi, F. and Bagheri, R., 1999. Investigation on poplar cultivated area change by aerial photographs and land control. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 3(1): 89-108 (In Persian).
- Askar, M., Yazdanehpas, G. and Amini, A., 2010. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, 26(3): 313-329 (In Persian).
- Centritto, M., Brillì, F., Fodale, R. and Loreto, F., 2011. Different sensitivity of isoprene emission,

- Salari, A., 1999. The adaptation of suitable poplar clones in West Azarbaijan. Final report of research project, Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, 78p (In Persian).
- Shaban, M., Khajeddin, S.J. and Karimzadeh, H.R., 2007. Effect of water stress on leaf water potential of some trees and shrubs. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding, 15(1): 51-62 (In Persian).
- Tschaplinski, T.J., Tuskan, G.A. and Gunderson, C.A., 1994. Water-stress tolerance of black and eastern cottonwood clones and four hybrid progeny. I. Growth, water relations and gas exchange. Canadian Journal of Forest Research, 24(2): 364-371.
- Yemshanov, D., McKenney, D., 2008. Fast-growing poplar plantations as a bioenergy supply source for Canada. Biomass and Bioenergy, 32(3): 185-197.
- Yousefi, B. and Modir-Rahmati, A.R., 2011. Survey on adaptation and wood yield of *Populus nigra* clones in comparative populetum of Sanandaj (final stage). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(3): 283-299 (In Persian).
- Zhang, X., Zang, R. and Li, C., 2004. Population differences in physiological and morphological adaptations of *Populus davidiana* seedlings in response to progressive drought stress. Plant Science, 166(3): 791-797.
- Zhijun, L. and Dickmann, D. I., 1992. Responses of two hybrid *Populus* clones to flooding, drought, and nitrogen availability. I. Morphology and growth. Canadian Journal of Botany, 70(11): 2265-2270.
- Zsuffa, L., Giordano, E., Pryor, L.D. and Stettler, R.F., 1996. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives: 515-539. In: Stettler, R.F., Bradshaw, H.D. Jr, Heilman, P.E. and Hinckley, T.M. (Eds.). Biology of Populus and Its Implications for Management and Conservation. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, 542p.
- 2014. Abiotic stresses: 337-442. In: Isebrands, J.G. and Richardson, J. (Eds.). Poplars and Willows, Trees for Society and the Environment. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI, Rome, Italy, 634p.
- Mirsadaghi, H., 2001. Report on the status of the primary materials of the West paper industries. Unpublished leaflet, West Wood Factory, Kermanshah, 10p (In Persian).
- Monclus, R., Dreyer, E., Villar, M., Delmotte, F.M., Delay, D., Petit, J.M., Barbaroux, C., Le Thiec, D., Bréchet, C. and Brignolas, F., 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *P. nigra*. New Phytologist, 169(4): 765-777.
- Niinemets, U., 2001. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. Ecology, 82(2): 453-469.
- Perry, C. H., Miller, R.C. and Brooks, K.N., 2001. Impacts of short-rotation hybrid poplar plantations on regional water yield. Forest Ecology and Management, 143(1-3): 143-151.
- Ragauskas, A.J., Williams, C.K., Davison, B.H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C.A., Frederick Jr, W.J., Hallett, J.P., Leak, D.J., Liotta, C.L., Meilenz, J.R., Murphy, R., Templer, R. and Tschaplinski, T., 2006. The path forward for biofuels and biomaterials. Science, 311: 484-489.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G and Perrotta, C., 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. Plant, Cell & Environment, 29(12): 2143-2152.
- Saeidi, Z. and Azadfar, D., 2009. Effect of hydromorphy and drought stresses on net photosynthesis rate and viability for three poplar species. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 16(3): 93-106 (In Persian).

Evaluation of growth and yield of black poplar (*Populus nigra* L.) clones under drought stress period in comparative populetum of Sanandaj

B. Yousefi^{1*} and A.R. Modir Rahmati²

1* - Corresponding author, Associate Prof., Research Division of Natural Resources, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran. E-mail: bayzidyousefi@yahoo.com

2- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 08.05.2018

Accepted: 27.06.2018

Abstract

Regarding the effects of climate change and the recent drought in Iran, it is necessary to assess the growth and production of poplar varieties under drought stress. In this research, 14 clones of black poplar (*Populus nigra* L.) were studied during 2001-2008 in Sanandaj, Kurdistan province. Cuttings were planted in early March of 2000, and the samplings were transplanted in early April of 2001 in 3m × 3m spacing and a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications. The yearly field works included uniformly-applied irrigation, weeding and pruning. However, they were subjected to drought stress in 2007 due to the impossibility of providing water by the tenth of July (103 days). The results showed that drought caused leaf yellowing and fall, as well as mildew (*Melanophylla picta*) outbreak and finally drying of a number of trees. Moreover, simultaneous drought and increase the range of traits changes limited the growth of poplar clones, so that the trees could not show their potential growth rate. Responses to drought stress among poplar clones showed a significant variation, so that *P.n.M* and *P. n. 42/53* showed zero percentage, while *P. n. 63/135* showed about 50% damage caused by drought. The average loss of drought in the clones was 20.49%. In addition, the *P. n. 56/52* and *P. n. 56/75* clones with 25.61 and 24.80 m³/ha per year wood yield and moderate (25-30%) damage caused by drought were defined as high-yield and relatively tolerant clones. The results of multivariate statistical analysis (correlation coefficients, cluster analysis, and principal component analysis- PCA) showed a negative effect of drought stress on the wood yield and its components. They also showed that smaller clones with fewer leaf sizes have higher drought tolerance by more water maintaining potential and lower evaporation levels. Finally, the presence of genetic diversity in terms of stress tolerance among poplar clones as well as their segregation pattern in cluster analysis and PCA biplot indicated the interference of genetic factors in its control and the availability of stable clones that can be compatible with dry conditions of the country via their hybridization.

Keywords: Clone, function, genetic diversity, loss.