



## اثر سایه بر صفات ریختی برگچه نهال بنه تحت تنش خشکی

محمدحسین صادقزاده حلاج<sup>۱</sup>، داوود آزادفر<sup>۲\*</sup> و حسین میرزایی ندوشن<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان  
<sup>۳</sup> استاد پژوهش، گروه تحقیقات زیست‌فناوری، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۱)

### چکیده

به منظور ارزیابی اثر سایه و تنش خشکی بر صفات ریختی برگچه نهال بنه (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*)، پژوهشی در ایستگاه تحقیقات البرز کرج در تابستان ۱۳۹۳ انجام گرفت. نهال‌های یکساله گلدانی بنه تحت تیمارهای رطوبت خاک (در سه سطح ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) و سایه‌بان مصنوعی (در سه سطح صفر، ۳۰ و ۵۰ درصد از نور کامل) در قالب طرح کرت‌های خردشده با پایه بلوک‌های کامل قرار گرفتند. پس از گذشت حدود ۵ ماه، برگچه‌های انتهایی برگ‌های نهال‌ها از جهت‌های مختلف تاج جمع‌آوری و متغیرهای مورفولوژیک برگچه‌ها اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش سطح، طول، عرض، نسبت طول به عرض، محیط، ضریب شکل و سطح مخصوص برگ شد. سایه موجب کاهش ضخامت و افزایش سطح و سطح مخصوص برگچه شد. اثر متقابل تنش خشکی و سایه بر سطح مخصوص برگ معنی‌دار بود که نشان می‌داد واکنش سطح مخصوص برگچه به سایه، به مقدار رطوبت خاک بستگی دارد، به نحوی که افزودن سایه سبب رفع اثر کاهشی تنش خشکی بر این متغیر شد. به‌طور کلی با توجه به حساسیت متغیرهای بررسی‌شده به تغییرات رطوبت و نور، می‌توان صفات ریختی برگچه نهال بنه را به‌عنوان نشانگرهای مهم برای تعیین تغییرات رطوبت خاک و مقدار نور به‌کار گرفت.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، سطح مخصوص برگ، ضخامت برگ، ضریب شکل برگ.

### مقدمه

بنه درختی دوپایه و خزان‌کننده به ارتفاع ۲ تا ۷ متر، با برگ‌های تک‌شانه‌ای فرد و دارای یک تا هفت برگچه (به ندرت بیشتر) در هر برگ است. محور برگ‌ها دارای بالی باریک است که گاهی تا انتهای دم‌برگ نیز ادامه می‌یابد. برگچه‌ها به شکل‌های مختلف تخم‌مرغی، مستطیلی کشیده و نیزه‌ای به طول ۳ تا ۹ سانتی‌متر و عرض ۱/۵ تا ۵ سانتی‌متر هستند (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003).

بنه با نام علمی *Pistacia atlantica* Desf. از جنس پسته (*Pistacia* L.) و از خانواده Anacardiaceae است. از این جنس در جهان یازده گونه و در ایران سه گونه به نام‌های پسته معمولی (*Pistacia vera* L.)، بنه یا پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) و خنجوک (*Pistacia khinjuk* Stocks) وجود دارد (Mozaffarian, 2004).

چنانکه (Pilevar et al. 2012) با بررسی اثر چهار شدت نور مختلف (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد) بر نونهال های بلوط ایرانی در نهالستان دریافتند که با افزایش سایه، میانگین سطح برگ نهال افزایش می یابد. (Abrams et al. 1991) با بررسی اثر سایه و تنش خشکی بر نهال های دوساله دو اکوتیپ مختلف *Prunus serotina* گزارش کردند که سایه شدید (۸۰ درصد از نور کامل) سبب حذف اثر افزایشی تنش خشکی بر ضخامت و جرم ویژه برگ می شود. تحقیقات (Aranda et al. 2005) در خصوص اثر رطوبت خاک (۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و شدت نور (۵۰ و ۲ درصد نور کامل) بر نونهال های بلوط چوب پنبه (*Quercus suber* L.) در اولین فصل رویش نشان داد که سایه شدید (۹۸ درصد) سبب افزایش سطح مخصوص برگ این گونه می شود. (Quero et al. 2006) در بررسی اثر تنش خشکی و سایه بر نهال های دو گونه خزان کننده و دو گونه بلوط همیشه سبز طی مدت دو ماه نتیجه گرفتند که سایه سبب افزایش سطح مخصوص برگ نهال های تحت تنش خشکی می شود. (Schomacher et al. 2008) پس از بررسی اثر توامان رطوبت خاک و سایه بر رقابت گونه های بومی و مهاجم تروپیکال در جمهوری سیشل (کشوری در قاره آفریقا) گزارش کردند که گونه های مهاجم با سطح مخصوص برگ کوچک تر تطابق بهتری با تنش خشکی نشان دادند و سایه سبب تقویت عملکرد گونه های بومی نسبت به گونه مهاجم تحت تنش خشکی شد. (Hernandez et al. 2009) با بررسی اثر مقادیر مختلف رطوبت خاک و شدت های نور (۱۰۰ و ۶۰ درصد نور کامل) بر نهال های دو گونه اسکروفیلی *Quercus suber* L. و *Pistacia lentiscus* L. گزارش کردند که فارغ از مقدار رطوبت خاک، سایه سبب افزایش سطح برگ و سطح مخصوص برگ این گونه ها می شود. نتایج استفاده از شدت های سایه ۵۰، ۷۰ و ۸۰ درصد بر جمعیت های مختلف *Dracaena sanderiana* در سریلانکا حاکی از کاهش

(Mozaffarian 2004) برای گونه بنه سه زیرگونه در ایران برشمرده که عبارت اند از: کسور یا بنه کابلی (*Pistacia atlantica* subsp. *cabulica*)، بنه کردستانی (*Pistacia atlantica* subsp. *kurdica*) و بنه یا چاتلانقوش (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*). وی زیرگونه *mutica* را مترادف گونه *Pistacia mutica* Fisch. & C. A. Mey. دانسته است.

در جهان تحقیقات زیادی درباره اثر تنش خشکی و رژیم نور روی مورفولوژی برگ گونه های مختلف انجام گرفته است، البته اثر عوامل نور و رطوبت علاوه بر نوع گیاه تحت آزمایش، به شرایط اجرای پژوهش، سن گیاه، شدت تنش اعمال شده و طول مدت اعمال تنش بستگی دارد و مجموع عوامل یادشده، سبب شده نتایج متفاوت و گاه متناقضی از واکنش های مورفولوژیک گیاهان به تغییرات این عوامل منتشر شود.

نتایج آزمایش های لایسیمیتری روی *Eucalyptus camaldulensis* نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، سطح ویژه برگ افزایش یافت (Rad et al., 2011). (Mirzaei et al. 2013) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ نهال خنجوک (*Pistacia khinjuk*) شد. در تحقیق دیگری، اعمال تنش خشکی به مدت هشت هفته بر نهال های سه ساله *Quercus robur* و *Q. petraea* اثری بر سطح برگ و سطح مخصوص برگ این گونه ها نداشت (Gieger & Thomas, 2002). این در حالی است که در بررسی (Huang et al. 2009) در نهال های حاصل از قلمه دو جمعیت *Populus cathayana*، تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ و سطح ویژه آن شد. به طور مشابه، تحقیقات (Sapeta et al. 2013) در خصوص اثر تنش خشکی بر گونه جتروفا (*Jatropha curcas*) و نیز یافته های (Mirzaei & Karamshahi 2015) درباره نونهال های بنه حکایت از کاهش سطح برگ نهال داشته است. در مورد تأثیر روشنایی و سایه نیز گزارش های متعددی در جهان منتشر شده است.

در آن خرد شدند (Sadat Noori, 2005). همچنین به دلیل قرارگیری ردیفی از درختان در حدود ۲۰ متری شرق مزرعه آزمایشی که سبب سایه‌اندازی روی ردیف کرت‌های شرقی در نخستین ساعات صبح می‌شد، بلوک‌بندی طرح آزمایش در جهت عمود بر سایه‌اندازی درختان صورت گرفت. با استفاده از توری‌های سایه‌انداز پلی‌اتیلنی، سایه‌بان‌ها به وسیله پیکه‌های چوبی روی کرت‌ها مستقر شدند و اطراف آنها نیز با توری سایه‌بان به نحوی پوشانده شد که از نفوذ نور به واحد آزمایشی در ساعات اول و آخر روز جلوگیری شود. طرح آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، ۲۷ کرت و ۱۰ گلدان در هر کرت استقرار یافت و عوامل تحت آزمایش شامل رطوبت خاک (در سه سطح ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) به عنوان عامل اصلی و سایه‌بان مصنوعی (در سه سطح صفر، ۳۰ و ۵۰ درصد) به عنوان عامل فرعی به صورت تصادفی در بلوک‌ها مرتب شدند.

قبل از اعمال تیمارها و با توجه به همسانی وزن همه گلدان‌ها، ظرفیت زراعی گلدان‌ها با استفاده از روش توزین به دست آمد و براساس آن وزن هدف برای سطوح تیمارهای مختلف رطوبتی محاسبه شد. گلدان‌ها در ابتدای هر روز با استفاده از ترازوی قابل حمل با دقت ۲ گرم توزین و با آبیاری با استوانه مدرج ۱ لیتری به وزن هدف رسانده شدند. آبیاری و اعمال تیمارهای رطوبتی حدود پنج ماه و تا اواسط آبان ۱۳۹۳ پیش از فرا رسیدن اولین بارندگی ادامه داشت. در این زمان به منظور آزمایش‌های مورفولوژی برگ و با توجه به مرکب بودن برگ بنه و هتروفیلی موجود در نهال‌ها به لحاظ تعداد برگچه‌های هر برگ، چهار برگچه انتهایی در جهت‌های مختلف تاج تمام نهال‌ها برداشت شده و به فریزر منتقل شدند.

سطح، محیط، طول و عرض برگچه‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Gate House 4cht Aok) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضخامت برگچه‌ها از

سطح برگ و تولید زی توده به موازات افزایش سایه بود (Srikrishnah et al., 2012)

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر عوامل رطوبت و نور و اثر متقابل آنها بر صفات ریختی برگچه نهال بنه و امکان استفاده از این مشخصه‌ها به عنوان نشانگرهای تنش‌های خشکی و نوری و با علم به نبود پژوهش مشابه درباره این گونه در کشور انجام گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات البرز کرج وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور واقع در جنوب شهر کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی با ۱۳۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا انجام گرفت. براساس آمار ایستگاه هواشناسی شهر کرج (سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳)، میانگین بارندگی سالیانه ۲۸۳/۲ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت ماهانه منطقه مذکور ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین ماهانه سرعت باد ۲/۶ متر بر ثانیه است. حداکثر مطلق دما ۴۱/۸ درجه سانتی‌گراد در تیر ۱۳۸۹ و حداقل مطلق دما ۱۶/۶- درجه سانتی‌گراد در دی ۱۳۸۷ رخ داد.

### روش پژوهش

در اواخر زمستان ۱۳۹۲، نهال‌های گلدانی همگن یکساله بنه (*Pistacia atlantica* subsp. *Mutica*) با مبدأ دره ازگی کرج، به گلدان‌های پلاستیکی بزرگ‌تر (طول ۳۵ و قطر ۳۰ سانتی‌متر) منتقل شدند و پس از چند ماه مهلت‌دهی به منظور استقرار کامل در گلدان‌ها، در خرداد ۱۳۹۳ تحت تیمارهای رطوبت و سایه‌بان قرار گرفتند. با توجه به ماهیت عوامل بررسی‌شده و به منظور کنترل بهتر واحدهای آزمایشی، عامل رطوبت خاک، عامل اصلی در نظر گرفته شد و تیمارهای مختلف سایه به صورت تصادفی

عوامل بر آنها معنی دار بود با استفاده از آزمون LSD (Soltani, 2006) انجام گرفت.

### نتایج

براساس نتایج تحلیل واریانس، اثر رطوبت خاک بر متغیرهای سطح، طول، عرض، محیط و ضریب شکل برگچه (سطح ۹۹ درصد) و نسبت طول به عرض برگچه (سطح ۹۵ درصد) معنی دار بود. هیچ‌یک از این دو عامل بر دو متغیر ضخامت و سطح مخصوص برگچه اثر معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد نداشت. اثر سایه بر متغیرهای ضخامت و سطح مخصوص برگچه در سطح ۹۹ درصد و بر متغیر سطح برگچه در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی دار بود، اما اثر معنی دار سایه بر متغیرهای طول، عرض، نسبت طول به عرض، محیط و ضریب شکل برگچه مشاهده نشد. اثر متقابل رطوبت خاک و سایه بر متغیر سطح مخصوص برگچه در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی دار بود (جدول ۱).

نتایج آزمون LSD برای مقایسه میانگین متغیرهای مورفولوژی در سطوح مختلف رطوبت خاک در جدول ۲ ارائه شده است. روند افزایشی سطح، طول، عرض، نسبت طول به عرض و محیط برگ در اثر افزایش رطوبت خاک مشاهده می‌شود. در خصوص ضریب شکل برگ بیشترین مقدار این متغیر در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد. به عبارت دیگر، برگچه‌های نهال‌های تیمار شده با این مقدار رطوبت خاک بیشترین شباهت را به شکل دایره داشتند.

مقایسه میانگین متغیرهای مورفولوژی برگچه در تیمارهای مختلف سایه نشان می‌دهد که افزایش سایه سبب افزایش سطح، کاهش ضخامت و سطح مخصوص برگچه‌ها شده است (جدول ۳).

دستگاه ابداعی آقای مهندس خوشنویس واقع در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور استفاده شده و ضخامت برگچه‌ها با دقت صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد. با در دست داشتن برگچه‌ها مقدار سطح مخصوص از نسبت سطح به جرم براساس سانتی مترمربع بر گرم اندازه‌گیری و گزارش شد (Xu et al., 2009). ضریب شکل (گردی) برگچه مبین میزان شباهت شکل برگ به دایره است که مقدار آن بین صفر تا ۱ در نوسان است و اعداد بالاتر، نشان دهنده شباهت بیشتر برگ به شکل دایره‌اند. مقدار ضریب شکل برگ براساس رابطه ۱ تعیین شد (Kadir et al., 2011).

$$FF = (4 \times \pi \times A) / P^2 \quad \text{رابطه ۱}$$

FF: ضریب شکل برگ، A: مساحت و P: محیط برگ است.

با توجه به وجود ۱۰ نهال در هر کرت، میانگین نهال‌ها به عنوان مقدار متغیر برای هر کرت محاسبه شد و مبنای تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### روش تحلیل

پس از بررسی آماره‌های توصیفی و پایش داده‌ها به لحاظ وجود داده‌های پرت حاصل از خطاهای اندازه‌گیری یا ورود داده‌ها به سیستم، همه متغیرها به لحاظ تبعیت از توزیع نرمال با آزمون اندرسون-دارلینگ بررسی شد. در این مرحله متغیرهای سطح، ضخامت، طول، عرض، نسبت طول به عرض و محیط برگچه به دلیل تبعیت نکردن از توزیع نرمال با استفاده از روش تبدیل جانسون (Johnson, 1949) نرمال شدند. همگنی واریانس‌ها نیز با استفاده از آزمون لون بررسی شد. اثرگذاری عوامل تحت مطالعه و برهم‌کنش آنها از راه تجزیه واریانس براساس طرح کرت‌های خرد شده با پایه بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد و مقایسه میانگین برای متغیرهایی که اثر

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس متغیرهای مورفولوژی برگچه نهال‌های بنه

| منبع تغییرات   | درجه آزادی | سطح       | ضخامت    | طول       | عرض      | نسبت طول به عرض | محیط      | ضریب شکل | سطح مخصوص  |
|----------------|------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------------|-----------|----------|------------|
| بلوک           | ۲          | ۰/۲۶۳ ns  | ۰/۰۰۰ ns | ۰/۳۷۴ ns  | ۰/۰۲۰ ns | ۰/۱۵۳ ns        | ۰/۱۲۱ ns  | ۰/۰۰۰ ns | ۶/۳۶۵ ns   |
| رطوبت خاک      | ۲          | ۱۲/۲۵۶*** | ۰/۰۰۰ ns | ۱۵/۲۸۲*** | ۵/۸۰۳*** | ۶/۳۵۸*          | ۱۶/۸۴۸*** | ۰/۰۰۹*** | ۵/۵۶۷ ns   |
| خطای عامل اصلی | ۴          | ۰/۱۰۹     | ۰/۰۰۱    | ۰/۰۹۳     | ۰/۳۰۲    | ۰/۳۵۵           | ۰/۰۸۰     | ۰/۰۰۰    | ۳۳/۸۷۷     |
| سایه           | ۲          | ۰/۹۹۰*    | ۰/۰۰۳*** | ۰/۰۱۰ ns  | ۲/۰۳۰ ns | ۱/۷۶۷ ns        | ۰/۱۴۷ ns  | ۰/۰۰۴ ns | ۲۹۶/۲۹۲*** |
| رطوبت × سایه   | ۴          | ۰/۲۷۷ ns  | ۰/۰۰۱ ns | ۰/۱۸۷ ns  | ۰/۵۸۲ ns | ۰/۶۸۷ ns        | ۰/۰۸۲ ns  | ۰/۰۰۴ ns | ۱۳/۴۳۶*    |
| خطا            | ۱۲         | ۰/۲۴۲     | ۰/۰۰۰    | ۰/۳۱۸     | ۰/۸۰۷    | ۰/۵۶۹           | ۰/۳۴۹     | ۰/۰۰۳    | ۳/۵۸۱      |

\*\*\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۹۹ و ۹۵ درصد اطمینان و ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین متغیرهای مورفولوژی برگچه نهال‌های بنه در سطوح مختلف رطوبت خاک (± انحراف معیار)

| متغیر                  | ۲۰ درصد ظرفیت زراعی | ۵۰ درصد ظرفیت زراعی | ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| سطح (cm <sup>2</sup> ) | ۱/۳۶۱±۰/۱۸ c        | ۱/۵۴۳±۰/۱۶۶ b       | ۱/۷۳۱±۰/۱۶۳ a        |
| طول (cm)               | ۱/۷۵۷±۰/۰۷۵ b       | ۱/۷۸۷±۰/۰۸۱ b       | ۲/۰۲۳±۰/۱۰۶ a        |
| عرض (cm)               | ۱/۰۷۱±۰/۱۰۱ b       | ۱/۱۴۷±۰/۰۹۱ a       | ۱/۱۵۹±۰/۰۳۳ a        |
| نسبت طول به عرض        | ۱/۶۵±۰/۱۶ b         | ۱/۵۸±۰/۱۳ c         | ۱/۷۵±۰/۱۰ a          |
| محیط (cm)              | ۴/۵۱±۰/۲۲ c         | ۴/۶۹±۰/۲۲ b         | ۵/۰۹±۰/۱۹ a          |
| ضریب شکل               | ۰/۹۱۴±۰/۰۲۴ b       | ۰/۹۳۵±۰/۰۱۴ a       | ۰/۹۱۵±۰/۰۴۲ b        |

\*: میانگین‌های قرارگرفته در هر ردیف با حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دارند.

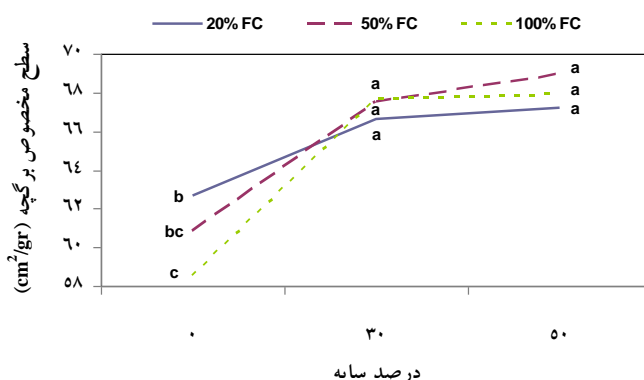
جدول ۳- مقایسه میانگین متغیرهای مورفولوژی برگچه نهال‌های بنه در سطوح مختلف سایه (± انحراف معیار)

| متغیر                           | بدون سایه     | سایه ۳۰ درصد   | سایه ۵۰ درصد  |
|---------------------------------|---------------|----------------|---------------|
| سطح (cm <sup>2</sup> )          | ۱/۴۸۷±۰/۱۵۳ b | ۱/۵۵۱±۰/۲۲۳ ab | ۱/۵۹۶±۰/۲۸۲ a |
| ضخامت (mm)                      | ۰/۲۷۵±۰/۰۲۶ a | ۰/۲۶۰±۰/۰۲۱ ab | ۰/۲۵۲±۰/۰۱۷ b |
| سطح مخصوص (cm <sup>2</sup> /gr) | ۶۰/۶۶±۶/۰۲ b  | ۶۷/۲۸±۵/۲۲ a   | ۶۸/۰۳±۴/۷۷ a  |

\*: میانگین‌های قرارگرفته در هر ردیف با حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دارند.

کامل، نهال‌های تحت تنش خشکی دارای بیشترین سطح مخصوص برگچه بودند، اما در سایه اندازی با شدت‌های ۳۰ و ۵۰ درصد، اگرچه جایگاه تیمارهای رطوبتی تغییر کرد، تفاوت معنی‌داری از نظر سطح مخصوص برگ نداشتند.

شکل ۱ حاوی گروه‌بندی تیمارهای ترکیبی رطوبت و سایه برای متغیر سطح مخصوص برگچه است. افزون بر افزایش شدید این متغیر با افزایش سایه اندازی از صفر به ۳۰ درصد، آنچه قابل مشاهده است تفاوت جایگاه تیمارهای مختلف رطوبت به موازات افزایش سایه است. چنانکه در شرایط نور



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های تیمارهای ترکیبی رطوبت و سایه برای سطح مخصوص برگچه نهال‌های بنه (میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند)

تلاش برای جذب بیشتر نور می‌دانند. هرچند به نظر می‌رسد در نهال‌های تحت تنش خشکی تأثیر کمک‌کننده سایه به حفظ آماس سلولی و افزایش تعرق پررنگ‌تر باشد (Huang et al., 2009). میزان تغییرات سطح برگچه در تنش ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مقدار ۰/۳۷ سانتی‌مترمربع کوچک‌تر از تیمار بدون تنش خشکی بود و در تیمار بدون سایه ۰/۱۰۹ سانتی‌مترمربع کوچک‌تر از تیمار سایه ۵۰ درصد بود. با توجه به شدت تغییرات به وجود آمده در سطح برگچه در اثر دو عامل رطوبت و نور (جدول ۱)، تأیید می‌شود که رطوبت خاک اثر شدیدتری بر این متغیر در مقایسه با سایه داشته است (میانگین مربعات ۱۲/۲۵۶ در برابر ۰/۹۹۰).

به تبع کاهش سطح برگچه، مقادیر طول، عرض و محیط برگچه نیز در اثر تنش خشکی کاهش معناداری داشتند، اما سایه اثر معنی‌داری بر متغیرهای مذکور نداشت و به عبارت دیگر سایه تغییری در هیچ یک از مقادیر بالا ایجاد نکرد.

چنانکه از گروه‌بندی سطوح مختلف رطوبت خاک برای متغیرهای نسبت طول به عرض و ضریب شکل برگچه برمی‌آید، روند تغییرات طول و عرض برگچه با تغییرات رطوبت دچار تغییر شده است؛ به طوری که با افزایش رطوبت خاک از ۲۰ به ۵۰ درصد ظرفیت

## بحث

در تحقیق حاضر، تنش خشکی سبب کاهش شدید سطح برگچه نهال‌های بنه شد. کاهش برگ یکی از سازگاری‌های مورفولوژیک گیاهان در مواجهه با تنش خشکی است. پایه‌های دارای سطح برگ بیشتر، توان فتوسنتزی بیشتری دارند، اما از طرف دیگر سطح برگ بزرگ‌تر به معنای تعرق بیشتر نیز است. بنابراین به منظور ثبات در فتوسنتز باید توازن میان سطح برگ و میزان تعرق آن وجود داشته باشد. در این حالت، کاهش سطح برگ یکی از سازوکارها برای ایجاد سازگاری است. همزمان با کاهش سطح برگ گیاه در اثر تنش خشکی، تعرق گیاه هم کم می‌شود و هدررفت آب از طریق روزنه، کاهش چشمگیری می‌یابد. افزون‌بر گزارش‌های متواتر مبنی بر کاهش سطح برگ گونه‌های مختلف در شرایط تنش خشکی (Rad et al., 2011; Sapeta et al., 2013)، درباره گونه بنه نیز گزارش‌هایی مبنی بر کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی وجود دارد (Mirzaei & Karamshahi, 2011).

در تحقیق حاضر، سایه سبب افزایش سطح برگ نهال بنه، صرف‌نظر از تیمارهای مختلف رطوبتی شد. (Aranda et al., 2005)، (Quero et al., 2006) و (Hernandez et al., 2009) در تحقیقات خود در انواع بلوط مدیترانه‌ای، دلیل این افزایش تحت تأثیر سایه را

کارایی جذب نور را در برگ‌های نازک به شدت افزایش می‌دهد (Terashima & Hikosaka, 1995). گیاهان نورپسند رشد یافته در مناطق خشک، دارای برگ‌های کوچک تر و ضخیم تر و دیواره سلولی کوتاه تر نسبت به گیاهان سایه‌پسندند (Abrams & Kubiske, 1990). این ویژگی به این گیاهان امکان می‌دهد که خطر از دست دادن شدید آب و پژمردگی را به حداقل برسانند و کارایی مصرف آب را افزایش دهند (Abrams et al., 1992).

با وجود افزایش سطح برگچه به موازات افزایش سایه، زی توده برگچه افزایش چندانی پیدا نکرد که می‌توانست به کاهش ضخامت برگچه‌ها نسبت داده شود. برخی محققان، نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Aranda et al., 2005; Quero et al., 2006; Hernandez et al., 2009). افزایش سطح برگ ویژه به برگ‌های سایه اجازه می‌دهد که نور بیشتری به‌ازای هر واحد وزن کسب کنند (Xu et al., 2009) و نیز سایه‌اندازی کلروپلاست‌ها بر یکدیگر به حداقل برسد (Quero et al., 2006). با این حال، همان‌گونه که در بررسی اثر متقابل سایه و رطوبت بر این متغیر آشکار شد، نهال‌های تیمار شده در سطوح رطوبتی بالاتر، سطح مخصوص برگچه بیشتری در اثر افزایش سایه به دست می‌آورند که دلیل آن توانایی بیشتر آنها در تولید برگ‌های ضخیم تر در نور کامل و تولید برگ‌های با سطح بیشتر در شرایط سایه است.

با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان ادعان کرد که در تنش‌های بلندمدت محیطی تغییرات در شکل برگچه، از سازوکارهای مقاومت به تنش در درخت بنه است و می‌توان مشخصه‌های ریختی برگچه را به‌عنوان نشانگرهای ساده و در دسترس برای بررسی تغییرات رطوبت خاک و مقدار نور دریافتی گیاه به کار گرفت.

زراعی افزایش عرض برگچه تغییرات عرضی و از ۵۰ به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش طول برگچه تأثیر بیشتری در افزایش سطح برگچه ایجاد کرده‌اند. تغییرات مذکور سبب شد که رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی دارای کمترین نسبت طول به پهنای برگچه و بیشترین ضریب شکل باشد. به عبارت دیگر برگچه‌ها در نهال‌های تیمار شده با رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین شباهت را به شکل دایره داشتند. بنا به نظر Xu et al. (2009) برگ‌های باریک تر، نوعی سازگاری مورفولوژیک گیاهان به مناطق خشک محسوب می‌شوند که بدین ترتیب، گیاهان مقدار تعرق اندازه لایه مرزی (سطحی از برگ که با هوا در تماس است) را به حداقل می‌رسانند.

در تحقیق پیش رو، نور ضخامت برگچه‌ها را افزایش داد. تولید برگ‌های ضخیم تر یکی از راهکارهایی است که به کمک آن برگ‌های قرار گرفته در نور، سرعت فتوسنتزی بیشتری در شرایط اشباع نوری به دست می‌آورند. تنوع ضخامت برگ تا حد زیادی ناشی از تشکیل سلول‌های پارانشیم نردبانی بلندتر یا افزایش تعداد لایه‌های سلول‌های پارانشیم نردبانی در برگ‌هایی است که در آفتاب قرار دارند (Lambers et al., 2008). افزایش تعداد و طول سلول‌های پارانشیم نردبانی به همراه کوتیکول‌های ضخیم تر و تجمع ترکیبات فلاونوئیدی در کوتیکول، راهکاری بسیار مهم برای حفاظت در برابر تنش نور شدید است (Davi et al., 2008). در مقابل، برگ‌های قرار گرفته در سایه، مزوفیل اسفنجی بیشتری دارند که به آنها کمک می‌کند جذب نور را از راه پخش نور داخلی بیشتر در فضای بین سلولی نامنظم و بی‌قاعده این سلول‌ها افزایش دهند (Vogelmann et al., 1996). افزایش مقدار مزوفیل اسفنجی در برگ‌های سایه، سبب می‌شود که طول مسیر نور در این برگ‌ها، ۰/۹ تا ۲/۷ برابر برگ‌های در معرض روشنایی باشد که

## References

- Abrams, M.D., & Kubiske, M.E., (1990). Leaf structural characteristics of 31 hardwood plants and conifer tree species in central Wisconsin: influence of light regime and shade-tolerance rank. *Forest Ecology and Management*, 31, 245-253.
- Abrams, M.D., Kloeppel, B.D., & Kubiske, M.E. (1992). Ecophysiological and morphological responses to shade and drought in two contrasting ecotypes of *Prunus serotina*. *Tree physiology*, 10, 343-355.
- Aranda, I., Castro, L., Pardos, M. Gil, L., & Pardos, J.A. (2005). Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*, 210, 117-129.
- Davi, H., Barbaroux, C., & Dufrêne E. (2008). Modelling leaf mass per area in forest canopy as affected by prevailing radiation conditions. *Ecol. Model*, 211, 339-349.
- Gieger, T., & Thomas, F.M. (2002). Effects of defoliation and drought stress on biomass partitioning and water relations of *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *Basic and Applied Ecology*, 3, 171-181.
- Hernández, E.I., Vilagrosa, A., Luis, V.C., Llorca, M., Chirino, E., & Vallejo, V.R. (2009). Root hydraulic conductance, gas exchange and leaf water potential in seedlings of *Pistacia lentiscus* L. and *Quercus suber* L. grown under different fertilization and light regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 269-276.
- Huang, X., Xiao, X., Zhang, S., Korpelainen, H., & Li, C. (2009). Leaf morphological and physiological responses to drought and shade in two *Populus cathayana* populations. *Biologia Plantarum*, 53(3), 588-592.
- Jazirehi, M.H., & Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). *Silviculture in Zagros*. Tehran: University of Tehran Press.
- Johnson, N.L. (1949). Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36(1/2), 149-176.
- Kadir, A., Nugroho, L.E. Susanto, A., & Santosa, P.I. (2011). Leaf classification using shape, color, and texture features. *International Journal of Computer Trends and Technology*, July to Aug, 225-230.
- Lambers, H., Chapin, F.S., & Pons, Th.L. (2008). *Plant Physiological Ecology. 2nd edition*, New York: Springer.
- Mirzaei, J., Akbarinia, M., Mohamadi Goltapeh, A., Sharifi, M., & Rezaei Danesh, Y. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizae fungi on morphological and physiological characteristics of *Pistacia khinjuk* under drought stress. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(2), 291-300
- Mirzaei, J., & Karamshahi, A. (2015). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Pistacia atlantica* seedlings. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22(1), 31-43.
- Mozaffarian, V. (2004). *Trees and Shurbs of Iran*. Tehran: Farhang Moaser Press
- Pilevar, B., Kakavand, M., Akbari, H., Ismaeilii, A., Soosani, J., & Mirazadi, Z. (2012). Growth and morphological responses of Manna oak (*Quercus brantii*) seedlings to different light levels at nursery in the first growing year. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1), 74-83.
- Quero, J.L., Villar, R., Marañón, T., & Zamora, R. (2006). Interactions of drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species: Physiological and structural leaf responses. *New Phytologist*, 170, 819-834.



- Rad, M.H., Assareh, M.H., Meshkat, M.A., & Soltani, M. (2011). Effects of drought stress on biomass, several growth parameters and water use efficiency of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) in response to drought stress. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(1), 13-27.
- Sadat Noori, S.A. (2005). Applied Statistics and Experimental Designs in Agricultural Sciences. Vol. 2, Tehran: University of Tehran Press.
- Sapeta, H., Costa, J.M., Lourenço, T., Maroco, J., van der Linde, P., & Oliveira, M.M. (2013). Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, 85, 76-84.
- Schumacher, E., Kueffer, Ch., Tobler, M., Gmur, V., Edwards, P.J., & Dietz, H. (2008). Influence of Drought and Shade on Seedling Growth of Native and Invasive Trees in the Seychelles. *BIOTROPICA*, 40(5), 543-549.
- Srikrishnah, S., Peiris, S.E., & Sutharsan, S. (2012). Effect of shade levels on leaf area and biomass production of three varieties of *Dracaena sanderiana* L. in the dry zone of Sri Lanka. *Tropical Agricultural Research*, 23(2), 142-151.
- Soltani, A. (2006). Re-consideration of Application of Statistical Methods in Agricultural Researches. Mashhad: Jihad Daneshgahi Press.
- Terashima, I., & Hikosaka, K. (1995). Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant Cell Environ.*, 18, 1111-1128.
- Vogelmann, T.C., Nishio, J.N., & Smith, W.K. (1996). Leaves and light capture: Light propagation and gradients of carbon fixation within leaves. *Trends in Plant Science*, 1, 65-70.
- Xu, F., Guo, W., Xu, W., Wei, Y., & Wang, R. (2009). Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves? *Progress in Natural Science*, 19(12), 1789-1798.



*Research Article*

## Effect of shade on the leaflet morphology of wild Pistachio sapling under drought stress

M.H. Sadeghzadeh Hallaj<sup>1</sup>, D. Azadfar<sup>2\*</sup> and H. Mirzaei Nodoushan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. in silviculture of forest ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Grogan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

<sup>3</sup> Prof., Dept. of Biotechnology Researches, Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, I. R. Iran

(Received: 2 January 2019, Accepted: 10 February 2019)

### Abstract

In this research, the effects of drought stress and shade on leaflet morphology of wild pistachio (*Pistacia atlantica* subsp. *Mutica*) saplings were evaluated in Albroz Research center (Karaj, Iran) in the summer of 2014. One-year pot wild pistachio saplings were treated by soil humidity (including 100%, 50% and 20% of field capacity) and artificial shading (including 0%, 30% and 50% of full sunlight) factors in a split plot experiment based on a randomized complete block design. After 5 months, terminal leaflet of the leaves was collected from different crown aspects and the morphological variables of leaflets were measured and calculated. Results showed that drought stress reduced the leaf area (LA), length, width, length to width ratio, perimeter, from factor and specific leaf area (SLA). Shade reduced the thickness and increased the LA and SLA of leaflets. The interaction of drought stress and shade on the SLA was significant which indicates that the response of the leaflet to shade depends on the amount of soil moisture, so that the addition of the shade reduced the effect of drought stress on this variable. In general, the results showed that the morphological characteristics of leaflets can be considered as feasible and important indicators of variation in soil moisture and light availability.

**Keywords:** Leaf area, Leaf Form Factor, Leaf Thickness, Specific Leaf Area