

تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی برگ راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های گیلان

محبوبه محبی بیجارپسی^{۱*}، تیمور رستمی شاهراجی^۲ و حبیب‌الله سمیع‌زاده لاهیجی^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

پست الکترونیک: mahboob.mohebi@gmail.com

۲- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۳- استاد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳

چکیده

ارزیابی تغییرات صفات کاربردی گیاه در طول گرادیان ارتفاعی برای درک سازگاری جوامع و پاسخ آن‌ها به تغییرات اقلیمی بسیار مفید است. به منظور بررسی تأثیر این تغییرات بر پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، نمونه‌برداری برگ در نیمی از جهت‌های شمالی و جنوبی تاج درختان این گونه در سه ارتفاع ۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ متری از سطح دریا در جنگل‌های ماسال استان گیلان انجام شد. نتایج نشان داد که ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ در بین جمعیت‌ها و ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ در بین و درون جمعیت‌ها، اختلاف معنی‌داری داشتند. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، مقدار سطح برگ، سطح ویژه برگ و محتوای آب نسبی نمونه‌های جمع‌آوری شده از دو نیمه تاج درختان افزایش یافت، اما از ارتفاع دوم به بعد، از مقدار این ویژگی‌ها کاسته شد. مقدار کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سه ارتفاع مختلف در نیمه شمالی تاج درختان از نیمه جنوبی بیشتر بود. مقدار کاروتنوئید نیز با افزایش ارتفاع (از ارتفاع پایین تا ارتفاع بالا) در هر دو نیمه تاج درختان افزایش یافت. میانگین بیشترین تأثیرپذیری از محیط برای ویژگی‌های فیزیولوژیکی در نیمه شمالی به کاروتنوئید (۰/۶) و در نیمه جنوبی به نسبت کلروفیل a/b (۰/۸۴) اختصاص یافت. در بین ویژگی‌های ریخت‌شناسی، بیشترین میانگین تأثیرپذیری از محیط در نیمه‌های شمالی و جنوبی تاج درختان در محتوای آب نسبی مشاهده شد (به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹). میانگین تأثیرپذیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی در طول گرادیان ارتفاعی، روند افزایشی داشت و نیز مقدار بیشتری نسبت به ویژگی‌های ریخت‌شناسی نشان داد. نتایج این پژوهش نشان داد که جمعیت‌های راش با تغییر در ویژگی‌های برگ در ارتفاعات مختلف به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تأثیرپذیری از محیط، سازگاری، کلروفیل، گرادیان ارتفاعی، گیلان، ویژگی‌های برگ.

مقدمه

اقلیم بر بوم‌سازگان‌های طبیعی انجام شده است (Bradshaw & Holzzapfel, 2006; Parmesan, 2006). همراه با افزایش

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی درباره اثرات تغییر

(2005).

برگ به‌عنوان اصلی‌ترین بخش فتوسنتزی گیاهان، سریع‌ترین واکنس را نسبت به تغییرات محیطی از خود نشان می‌دهد. پاسخ ویژگی‌های عملکردی برگ می‌تواند استراتژی‌های انطباق‌پذیری ویژه گیاهان را در شرایط خاص محیطی نشان دهد. تأثیرپذیری از محیط به‌عنوان یکی از مهم‌ترین توانایی‌های موجود زنده به‌صورت تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژی در پاسخ به تغییر در شرایط محیطی است و مطالعه آن می‌تواند نقش کلیدی در پیش‌بینی عملکرد و توزیع گونه‌های مختلف در شرایط محیطی مختلف داشته باشد (Gratani, 2014). پژوهش‌های گوناگونی نشان دادند که ویژگی‌های عملکردی برگ درختان در پاسخ به تغییرات ارتفاعی تغییر می‌کند. Guo و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی سازگاری *Abies georgei* در ارتفاعات مختلف (۳۷۰۰ تا ۴۳۰۰ متر) گزارش کردند که اختلاف معنی‌داری بین ویژگی‌های عملکردی و نیز ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ این گونه در ارتفاع‌های مختلفی وجود داشت. آن‌ها بیان کردند که ارتفاع ۴۱۰۰ متر، مناسب‌ترین ارتفاع برای رشد *A. georgei* بود. Rajsnerová و همکاران (۲۰۱۵) نیز پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی راش اروپایی (*Fagus sylvatica*) را در قسمت‌های بالایی و پایینی تاج‌پوشش درختان از ارتفاع ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ متر بررسی کردند. نتایج این پژوهش، سازگاری زیاد درختان راش را نسبت به عوامل محیطی نشان داد. همچنین، همراه با افزایش ارتفاع، برگ‌های قسمت پایینی تاج‌پوشش به کسب صفات مشابه با تاج‌پوشش بالایی تمایل داشتند. پژوهشگران مذکور بیان کردند که تأثیرپذیری برگ‌ها می‌تواند منجر به تغییر قابل ملاحظه‌ای در فتوسنتز کل تاج‌پوشش جنگل و تعادل کربن پوشش گیاهی شود.

راش (*F. orientalis* Lipsky) از جمله گونه‌های اصلی و ارزشمند جنگل‌های هیرکانی است که به‌علت برخی

ارتفاع، عوامل محیطی از جمله دما، رطوبت، فشار هوا و مقدار تابش نور خورشید تغییر می‌کنند. همراه با تغییر در عوامل محیطی، تغییر در ساختار و فیزیولوژی گیاهان نیز در طول گرادیان ارتفاعی مشاهده شده است (Lykholat *et al.*, 2016). پی بردن به چگونگی مکانیسم سازگاری و پاسخ‌گویی گیاهان به این تغییرات از اهداف اصلی علم‌های فیزیولوژی گیاهی و بوم‌شناسی است (Grahame *et al.*, 2006). حفاظت بسیاری از جوامع که از نظر اقتصادی، بوم‌شناختی، جنگل‌شناسی یا ژنتیکی اهمیت دارند، بسیار ضروری است. اگرچه رطوبت و دما، دو عامل مهم در شکل‌دهی ساختار یک اقلیم هستند، اما عوامل ارتفاع از سطح دریا، مقدار و چگونگی تابش نور خورشید و جهت‌های جغرافیایی نیز می‌توانند تأثیرگذار باشند (Vitasse *et al.*, 2010).

متأسفانه در ایران به‌دلیل عدم وجود سابقه مطالعاتی پیوسته از وضعیت گذشته شرایط محیطی گیاهان، واکنش گیاهان (درختان جنگلی) به پدیده‌های گرما و خشکی و چگونگی تحول آن‌ها، امکان این بررسی را با مشکل مواجه کرده است، بنابراین هرگونه مطالعه باید با تکیه بر شرایط موجود انجام شود. به‌دلیل عدم توزیع مناسب پایگاه‌ها یا ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مختلف، اطلاعات کافی از نظر تأثیر تغییرات دما و رطوبت بر عملکرد درختان در دست نیست. از این‌رو، با استفاده از انتخاب گونه‌های مناسبی که امکان گسترش آن‌ها در ارتفاعات مختلف وجود دارد، می‌توان با بررسی دقیق عوامل فیزیولوژیکی مؤثر، پاسخ‌گویی درختان را نسبت تغییرات محیطی بررسی کرد. تغییرات ارتفاعی، عامل بسیار مهمی برای بررسی ویژگی‌های گیاهان در راستای پی بردن به ماهیت سازش‌پذیری درازمدت آن‌ها است. با توجه به اینکه عامل تأثیرپذیری از محیط باعث پایداری افراد یک جمعیت در برابر نوسانات کوتاه‌مدت محیطی می‌شود، ممکن است تأثیرپذیری بتواند افراد جمعیت را در مقابل اثرات درازمدت تغییرات اقلیمی نیز حفظ کند (Jump & Peñuelas,

آبخیز ۱۲ ماسال در استان گیلان انتخاب شد. منطقه‌های مورد بررسی در محدوده عرض جغرافیایی $۱۴' ۳۷^{\circ}$ تا $۲۰' ۱۹' ۳۷^{\circ}$ و طول جغرافیایی $۱۹' ۵۵' ۴۸^{\circ}$ تا $۰۲' ۴۹^{\circ}$ واقع شده است. میانگین درجه حرارت سالانه این منطقه $۲۱/۳$ درجه سانتیگراد، میانگین بارش سالانه ۹۲۶ میلی‌متر، میانگین دمای هوا در طول دوره رویش $۲۶/۶$ درجه سانتیگراد و مقدار بارندگی در این دوره ۳۹۴ میلی‌متر است. از آنجایی که هدف این پژوهش، بررسی تغییرات برگ در طول گرادیان ارتفاعی بود، بنابراین با توجه به دامنه ارتفاعی راش، سه جمعیت در محدوده‌های ارتفاعی ۷۰۰ (پایین‌بند)، ۱۲۰۰ (میان‌بند) و ۱۷۰۰ متر (بالابند) از سطح دریا مشخص شد (جدول ۱). در هر دامنه ارتفاع، ۲۰ درخت سالم به‌طور تصادفی انتخاب شد. در مردادماه، از قسمت میانی تاج هر درخت، از دو نیمه شمالی (سایه) و جنوبی (آفتاب)، نمونه‌برداری برگ انجام شد (Hatziskakis et al., 2011).

ویژگی‌های فیزیولوژیکی، اثرات ارزنده‌ای بر بوم‌سازگان این جنگل‌ها داشته است، به طوری که در دامنه‌های ارتفاعی ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، یکی از گونه‌های اصلی جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شود (Ahmadi et al., 2009). پی بردن به قابلیت سازگاری گونه‌های مهم جنگلی مانند راش در طول گرادیان ارتفاعی بسیار اهمیت دارد. در پژوهش پیش‌رو، سازگاری راش نسبت به تغییرات محیطی در طول تغییرات ارتفاعی بررسی شد و هدف اصلی، ارزیابی تغییرات ریخت‌شناسی و سازگاری فیزیولوژیکی سه جمعیت راش در ارتباط با تغییرات محیطی در طول گرادیان ارتفاعی بود. نتایج این پژوهش می‌تواند برای ارزیابی انطباقی گونه‌های چوبی نسبت به تغییرات آب‌وهوایی مفید باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، سه رویشگاه راش در امتداد یک گرادیان ارتفاعی در جنگل‌های سری پنج شهرگاه، حوضه

جدول ۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه

ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شیب (درصد)	جهت عمومی
۷۰۰ (پایین‌بند)	$۳۷^{\circ} ۱۶' ۳۰''$	$۴۸^{\circ} ۵۴' ۱''$	۲۵-۳۰	شمال-شمال شرقی
۱۲۰۰ (میان‌بند)	$۳۷^{\circ} ۱۷' ۴۰''$	$۴۸^{\circ} ۵۷' ۲۱''$	۳۵-۴۰	شرقی-جنوب شرقی
۱۷۰۰ (بالابند)	$۳۷^{\circ} ۱۸' ۶۰''$	$۴۸^{\circ} ۵۸' ۳۰''$	۶۰-۶۵	شمال-شمال شرقی

که در آن: LA سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع و LW وزن تر برگ بر حسب گرم است. برای محاسبه وزن ویژه برگ، ابتدا نمونه‌های برگ در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت نگهداری شده و سپس وزن شدند. وزن ویژه برگ براساس رابطه ۲ محاسبه شد (Stojnić et al., 2016).

ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ شامل سطح برگ (cm^2) با استفاده از نرم‌افزار ImageJ (نسخه ۱/۴۴) اندازه‌گیری شد. سطح ویژه برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Zhong et al., 2014):

$$\text{SLA} = \frac{\text{LA}}{\text{LW}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

توجه به اینکه این پژوهش در قالب یک طرح آماری آشیانه‌ای (Nested ANOVA) طرح‌ریزی شده بود، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین، به منظور مقایسه میانگین مشخصه‌های اندازه‌گیری شده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک بین جمعیت‌ها نشان داد که کلروفیل b ، نسبت کلروفیل a/b و کاروتنوئید با هم اختلاف معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$). همچنین، از نظر کلروفیل b ، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b و کاروتنوئید اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های نیمه‌های شمالی و جنوبی تاج درختان در درون جمعیت‌ها وجود داشت ($p < 0.05$). تجزیه واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناسی نیز اختلاف معنی‌داری را در مورد ویژگی‌های سطح برگ، سطح ویژه برگ، وزن ویژه برگ و محتوای آب نسبی بین جمعیت‌ها نشان داد ($p < 0.05$; جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیک در بین سه جمعیت در جدول ۳ ارائه شده است. این یافته‌ها نشان داد که مقدار کلروفیل a ، b ، کلروفیل کل و پرولین از ارتفاع ۷۰۰ به ۱۲۰۰ متر کاهش یافت و دوباره از ارتفاع ۱۲۰۰ به ۱۷۰۰ متر، روند افزایشی داشت. همچنین، مقدار کاروتنوئید با افزایش ارتفاع، روند افزایشی داشت.

نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های ریخت‌شناسی نشان داد که از ارتفاع ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر، مقدار سطح برگ، سطح ویژه برگ و محتوای آب نسبی افزایش یافته و دوباره با افزایش ارتفاع از مقدار آن‌ها کاسته شد. همچنین، ویژگی‌های ریخت‌شناسی در ارتفاع اول با ارتفاع دوم و سوم، اختلافی معنی‌دار داشتند ($p < 0.05$)، اما بین ارتفاع‌های دوم و سوم، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{LMA} = \frac{\text{DW}}{\text{LA}}$$

که در آن: DW وزن خشک برگ بر حسب گرم و LA سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع است. برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی، وزن برگ تر با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد و به عنوان وزن تر (FW) در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در قوطی‌های حاوی آب مقطر قرار داده شدند تا به حالت اشباع خود برسند. نمونه‌ها در این حالت نیز توزین شدند تا وزن اشباع (TW) به دست آید. در نهایت، نمونه‌های اشباع‌شده به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوای آب نسبی (RWC) با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد (Villar-Salvador et al., 2004).

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{RWC} = \frac{\text{FW} - \text{DW}}{\text{TW} - \text{DW}} \times 100$$

مقدار کلروفیل و کاروتنوئید براساس روش Arnon (۱۹۶۷) اندازه‌گیری شد. در این روش، استخراج عصاره‌ها و اندازه‌گیری مقدار جذب عصاره‌ها توسط اسپکتروفتومتر UV-VIS در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. سپس، وزن تر با استفاده از رابطه‌های مربوط مقدار کلروفیل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد. مقدار پرولین براساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. در این روش، مقدار جذب عصاره استخراج‌شده در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. میانگین شاخص تأثیرپذیری از محیط (PI) برای هر متغیر از تفاوت بین کمترین و بیشترین مقادیر میانگین تقسیم بر حداکثر میانگین محاسبه شد (Valladares et al., 2000).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف بررسی شد. با

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی برگ درختان راش در امتداد تغییرات ارتفاعی

میانگین مربعات										منبع تغییرات	
ویژگی‌های ریخت‌شناسی				ویژگی‌های فیزیولوژیکی							
وزن ویژه خشک	سطح ویژه برگ	سطح برگ	محتوای آب نسبی	پرویلین	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	درجه آزادی	
۴/۶۳ [*]	۳۴۶۶۰/۷ [*]	۲۹۱۳۵/۹ [*]	۱۱۸۴/۹ [*]	۳/۸ ^{ns}	۰/۰۰۲ [*]	۲/۸ [*]	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۶ [*]	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲	جمعیت
۵/۵۶ ^{ns}	۱۹۳۹/۳ ^{ns}	۵۶/۶۹ ^{ns}	۶۷۲/۷ ^{ns}	۴/۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۲ [*]	۰/۶ [*]	۰/۰۰۴ [*]	۰/۰۰۰۴ [*]	۰/۰۰۶ ^{ns}	۱	جهت
۲/۷۵ ^{ns}	۱۰۰۶/۹ ^{ns}	۳۴۱۶/۸ [*]	۲۷۳/۸ ^{ns}	۱۰/۳ [*]	۰/۰۰۱ [*]	۰/۵ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۲	جمعیت × جهت
۱/۴۳ ^{ns}	۸۳۶۶/۸	۹۵۸/۰۹	۱۹۳/۰۳	۴/۲۹	۰/۰۰۰۴	۰/۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲۲		خطا

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

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن برای ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ درختان راش در بین جمعیت‌ها

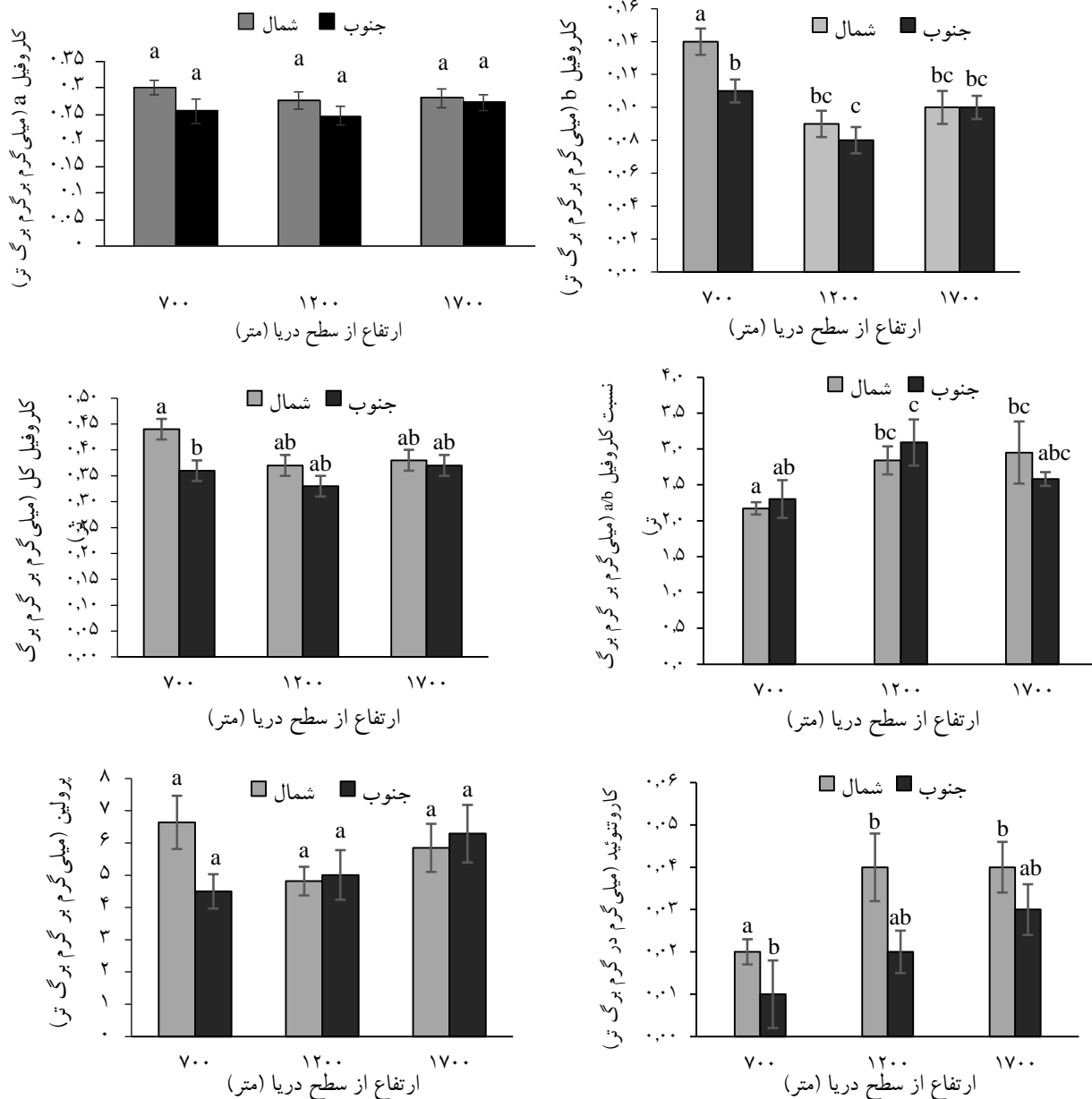
ویژگی‌های فیزیولوژیکی							ارتفاع از سطح دریا (متر)
پرویلین	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	ارتفاع از سطح دریا (متر)	
(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	(میلی‌گرم در گرم برگ تر)	
۵/۵۷±۰/۷۲ ^a	۰/۰۱±۰/۰۱ ^a	۲/۲۴±۰/۱۴ ^a	۰/۴±۰/۰۲ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۹ ^a	۰/۲۷±۰/۰۲ ^a	۷۰۰	
۴/۹۱±۰/۶۳ ^a	۰/۰۳±۰/۰۰۹ ^b	۲/۹۶±۰/۲۱ ^b	۰/۳۵±۰/۰۲ ^a	۰/۰۹±۰/۰۰۸ ^b	۰/۲۶±۰/۰۱ ^a	۱۲۰۰	
۶/۰۷±۰/۸۱ ^a	۰/۰۴±۰/۰۰۶ ^b	۲/۷۶±۰/۲۵ ^b	۰/۳۸±۰/۰۲ ^a	۰/۱±۰/۰۰۸ ^b	۰/۲۷±۰/۰۱ ^a	۱۷۰۰	

حروف لاتین متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

جدول ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن برای ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ درختان راش در بین جمعیت‌ها

ویژگی‌های ریخت‌شناسی			ارتفاع از سطح دریا (متر)
محتوای آب نسبی	وزن ویژه برگ (گرم/سانتی‌متر مربع)	سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع/گرم)	
۲۸/۰۴±۲/۶۴ ^a	۰/۰۰۴±۰/۰۰۰۲ ^a	۲۷۲/۱۳±۱۲/۵۳ ^a	۷۰۰
۳۷/۶۶±۲/۱۳ ^b	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۲ ^b	۳۳۰/۷۶±۱۸/۶۳ ^b	۱۲۰۰
۳۷/۲۶±۱/۸۳ ^b	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۱ ^b	۳۰۶/۰۱±۱۰/۴۷ ^b	۱۷۰۰

حروف لاتین متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ درختان راش در جهت‌های شمالی و جنوبی درون جمعیت‌ها (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، مطابق آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد نداشتند).

ارتفاع‌های ۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ متر از نیمه جنوبی بیشتر بود (به ترتیب ۰/۳، ۰/۲۷ و ۰/۲۸ میلی‌گرم در گرم برگ تر). مقدار کلروفیل a در نمونه‌های جمع‌آوری شده از دو طرف تاج

نتایج مقایسه میانگین درون جمعیت‌ها در کلروفیل a نشان داد که مقدار کلروفیل در نمونه‌های جمع‌آوری شده از نیمه شمالی تاج درختان در هر سه جمعیت مورد مطالعه در

۶/۲۹ میلی گرم در گرم برگ تر) (شکل ۱). در بین ویژگی‌های ریخت‌شناسی، بیشترین تأثیرپذیری از محیط (۰/۹۱) در بین نمونه‌های بررسی شده در نیمه شمالی در محتوای آب نسبی و در ارتفاع دوم (۱۲۰۰ متر) مشاهده شد. همچنین، بیشترین تأثیرپذیری از محیط (۰/۹۸) در نیمه جنوبی در ارتفاع اول (۷۰۰ متر) و برای ویژگی محتوای آب نسبی مشاهده شد (شکل ۲). میانگین تأثیرپذیری ویژگی‌های ریخت‌شناسی در جهت‌های شمالی و جنوبی تاج درختان، بیشترین تغییرات را در نیمه شمالی و جنوبی برای محتوای آب نسبی نشان داد (به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹). همچنین، نمونه‌های جمع‌آوری شده از نیمه جنوبی تاج درختان، بیشترین تأثیرپذیری از محیط را نشان دادند (شکل ۲).

درختان از ارتفاع ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر کاهش یافت و دوباره از ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ متر افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد. همچنین، بیشترین مقدار کلروفیل کل و کلروفیل b در نمونه‌های جمع‌آوری شده از نیمه شمالی تاج درختان در ارتفاع اول (۷۰۰ متر) و بیشترین مقدار نسبت کلروفیل a/b در نمونه‌های جمع‌آوری شده از نیمه جنوبی تاج درختان در جمعیت دوم (۱۲۰۰ متر) مشاهده شد. مقایسه میانگین مقدار کاروتنوئید حاکی از آن بود که همراه با افزایش ارتفاع، مقدار کاروتنوئید در هر دو نیمه افزایش یافت. مقدار پرولین در نیمه شمالی تاج درختان از ارتفاع ۷۰۰ به ۱۲۰۰ متر کاهش یافت و از ارتفاع ۱۲۰۰ متر تا ۱۷۰۰ متر اضافه شد، اما این مقدار در نیمه جنوبی تاج درختان همراه با افزایش ارتفاع از سطح دریا، افزایش یافت (به ترتیب ۴/۵، ۵/۰۱ و



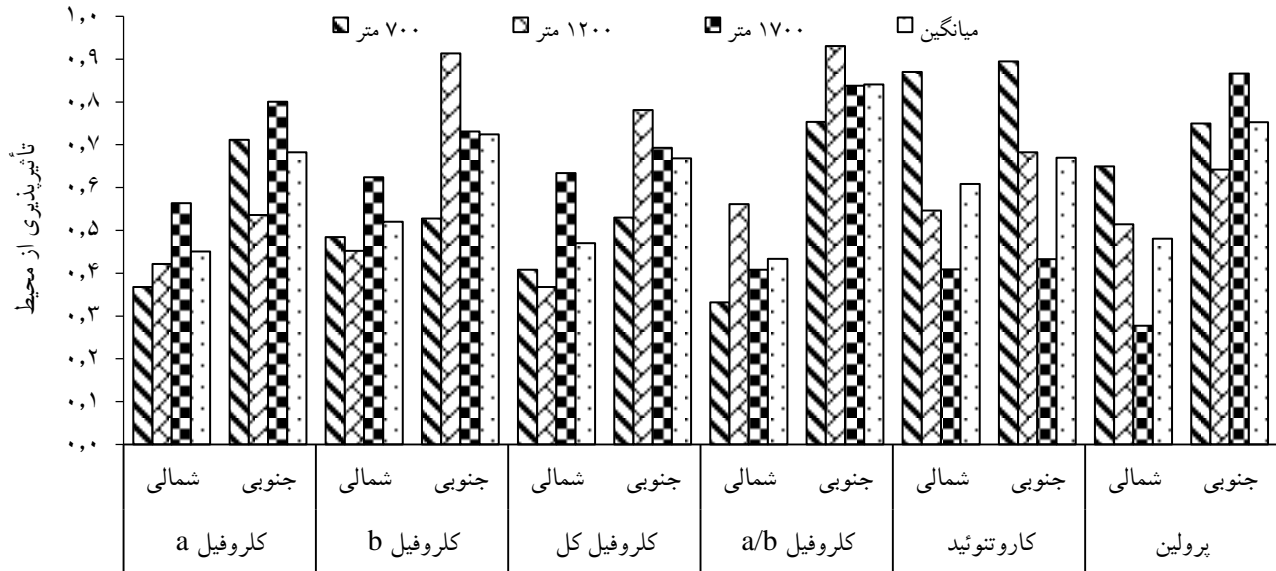
شکل ۲- مقدار تأثیرپذیری از محیط در برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ‌های قرار گرفته در نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان راش

کاروتنوئید و در طبقه اول ارتفاعی مشاهده شد. در نیمه جهت جنوبی تاج درختان، بیشترین تأثیرپذیری از محیط (۰/۹۱) در

در بین صفات فیزیولوژیک، بیشترین تأثیرپذیری از محیط (۰/۸۶) در بین نمونه‌های بررسی شده در نیمه شمالی در مقدار

a/b (۰/۸۴) مشاهده شد. همچنین، نمونه‌های بررسی شده از نیمه جنوبی تاج درختان در جمعیت‌های مختلف، بیشترین تأثیرپذیری را نسبت به تغییرات ارتفاع از خود نشان دادند (شکل ۳).

ارتفاع دوم و برای کلروفیل b به دست آمد. نتایج میانگین تأثیرپذیری از محیط در جهت‌های شمالی و جنوبی تاج درختان نشان داد که میانگین بیشترین تغییرات در نیمه شمالی برای کاروتنوئید (۰/۶) و در نیمه جنوبی برای نسبت کلروفیل



ویژگی‌های فیزیولوژیکی

شکل ۳- مقدار تأثیرپذیری از محیط در برخی از صفات فیزیولوژیکی برگ‌ها در نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان راش

ویژگی‌های مذکور در ارتفاع دوم مشاهده شد (جدول ۵). همچنین، همراه با افزایش ارتفاع، میانگین تأثیرپذیری از محیط در ویژگی‌های فیزیولوژیکی افزایش یافت (به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۸۴ و ۰/۸۷). میانگین تأثیرپذیری از محیط ویژگی‌های فیزیولوژیکی در طول گرادیان، مقدار بیشتری نسبت به ویژگی‌های ریخت‌شناسی نشان داد (جدول ۵).

نتایج تأثیرپذیری از محیط در ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی برگ درختان راش در طول گرادیان ارتفاعی نشان داد که با افزایش ارتفاع از ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر، میانگین تأثیرپذیری از محیط برای ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ افزایش، اما از ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ متر کاهش یافت. بیشترین تأثیرپذیری از محیط (۰/۷۸) برای میانگین

جدول ۵- مقدار تأثیرپذیری از محیط ویژگی‌های برگ درختان راش در طبقات ارتفاعی مختلف

ارتفاع از سطح دریا (متر)			ویژگی برگ	
۱۷۰۰	۱۲۰۰	۷۰۰		
۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۷۳	سطح برگ	ریخت‌شناسی
۰/۶۱	۰/۷۴	۰/۶۹	سطح ویژه برگ	
۰/۶۱	۰/۷۴	۰/۶۹	وزن ویژه خشک	
۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۸	محتوای آب نسبی	
۰/۶۹	۰/۷۸	۰/۷۷	میانگین	
۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۷۱	کلروفیل a	فیزیولوژی و مورفولوژی
۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۶۱	کلروفیل b	
۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۵	کلروفیل کل	
۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۷۱۵	نسبت کلروفیل a/b	
۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۹۳	کاروتنوئید	
۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۸۵	پرولین	
۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۷۴	میانگین	

بحث

ماوراء بنفش در ارتفاعات بالا را کاهش دهد (Guo et al., 2016). پژوهش Guo و همکاران (۲۰۱۶) حاکی از آن بود که ویژگی‌های سطح برگ و وزن ویژه خشک برگ به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر گرادیان ارتفاعی قرار دارند. همچنین، سطح برگ با افزایش ارتفاع کاهش یافت، اما وزن ویژه خشک برگ از ارتفاع ۳۷۰۰ تا ۴۱۰۰ متر کم شد و از ارتفاع ۴۱۰۰ متر دوباره مقدار این ویژگی در پاسخ به فاکتور ارتفاع افزایش یافت. مقدار وزن ویژه خشک برگ نشان‌دهنده میزان بهره‌برداری گیاه در یک زیستگاه است (Poorter et al., 2009). این ویژگی می‌تواند به‌عنوان شاخص واحدهای حفاظتی در واحد سطح مورد توجه قرار گیرد و به جذب کربن مرتبط است (Gratani et al., 2012). وزن ویژه خشک به‌واسطه عواملی مانند شدت نور، درجه حرارت و مواد مغذی

عدم نفوذ نور یکسان از تاج درختان به داخل توده‌های جنگلی باعث به‌وجود آمدن تغییرات مختلفی در درختان می‌شود (Rajsnerová et al., 2015). در پژوهش پیش‌رو، نتایج مربوط به مقدار تغییرات ویژگی‌های ریخت‌شناسی در بین جمعیت‌های راش حاکی از وجود اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های ریخت‌شناسی در بین جمعیت‌ها نشان داد که مقدار سطح برگ، سطح ویژه برگ و محتوای آب نسبی تا ارتفاع دوم افزایش یافته و در ارتفاع سوم از مقدارشان کاسته شد (جدول ۴). کاهش سطح برگ در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا، ضخیم‌تر شدن برگ‌ها و افزایش بهره‌وری از نور می‌تواند استرس‌های ناشی از عوامل فیزیکی مانند دمای کم و اشعه

(۲۰۱۲) در بررسی تغییرات ویژگی‌های چهار گونه کاج در طول گرادیان ارتفاعی نتیجه گرفتند که محتوای آب نسبی، تغییرات بیشتری نسبت به تغییرات ارتفاعی داشت. همچنین، این ویژگی، اثرپذیری بیشتری نسبت به تغییرات محیطی نشان داد. به‌طور کلی مقادیر زیاد محتوای آب نسبی به‌عنوان شاخص تحمل تنش در نظر گرفته می‌شود (Toscano *et al.*, 2016).

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی در بین جمعیت‌ها حاکی از وجود اختلاف معنی‌داری بین برخی از صفات بود (جدول ۲). نتایج مطالعات پیشین نیز اختلاف معنی‌داری را بین ویژگی‌های فیزیولوژیکی در پاسخ به تغییرات محیطی نشان داده‌اند. به‌عنوان مثال، Guo و همکاران (۲۰۱۶) در جمعیت‌های مختلف *A. georgei* و همکاران (۲۰۱۵) در دو جمعیت مختلف راش اروپایی به نتایج مشابهی دست یافتند.

در پژوهش پیش‌رو، کاهش محتوای کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل در ارتفاع دوم نسبت به ارتفاع اول مشاهده شد (جدول ۳). کاهش در محتوای کلروفیل ممکن است به‌علت استرس‌های واردشده به درخت در ارتفاع دوم باشد. نتایج مطالعه Lykholat و همکاران (۲۰۱۶) در مورد محتوای کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل *a/b* در دو گونه بلوط (*Quercus robur*) و ون (*Fraxinus excelsior*) در طول تغییرات ارتفاعی نشان داد که با افزایش ارتفاع، محتوای این پارامترها دستخوش تغییرات شدند. همچنین، با افزایش ارتفاع، محتوای کلروفیل‌های *a*، *b* و کلروفیل کل در بلوط افزایش یافت و در گونه ون کم شد. در پژوهش پیش‌رو، نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری را در محتوای کلروفیل *a*، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل *a/b* و کاروتنوئید در درون جمعیت‌ها نشان داد (جدول ۲؛ شکل ۱). انباشت کلروفیل *a* و *b* در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از دو نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان باعث افزایش کلروفیل کل در دو نیمه تاج درختان از

قابل دسترس، تغییرپذیر است (Poorter *et al.*, 2009). همچنین، زیاد بودن وزن ویژه خشک در ارتفاعات پایین می‌تواند دلیلی بر وجود دمای زیاد در ارتفاعات پایین در مقایسه با ارتفاعات بالاتر باشد. در حقیقت، مقادیر زیاد وزن ویژه خشک از طریق ایجاد محدودیت برای تعرق برگ، عملکرد حفاظتی را فراهم می‌کند (Sletvold & Ågren, 2012). در واقع، برگ‌های با وزن ویژه خشک بیشتر، حساسیت به‌نسبت بیشتری نسبت به تغییرات پتانسیل آب از خود نشان می‌دهند و با بستن روزنه‌ها باعث حفظ آب در برگ می‌شوند و از این طریق، محتوای آب برگ افزایش می‌یابد (Gratani, 2014). از سوی دیگر، برگ‌های با وزن ویژه خشک کمتر، ظرفیت جذب کربن بیشتری دارند. Wada و Taguchi (۲۰۰۱) بیان کردند که تغییرات به‌وجود آمده در صفات برگ، نشان‌دهنده پاسخ انطباقی به شرایط رشد است که باعث حفظ توازن کربن در مناطق کوهستانی می‌شود، بنابراین کم بودن وزن ویژه خشک در ارتفاعات بالاتر تا حدی می‌تواند نرخ بیشتر فتوسنتز را نسبت به ارتفاعات پایین‌تر توجیه کند (Wright *et al.*, 2004).

یکی از ویژگی‌های اصلی ریخت‌شناسی که در پاسخ به تغییرات نوری تغییر می‌کند، سطح ویژه برگ است (Gratani, 2014). نتایج پژوهش پیش‌رو حاکی از آن بود که برگ‌های جمع‌آوری‌شده در سمت نور (نیمه جنوبی)، محتوای آب نسبی بیشتری نسبت به برگ‌های رشدکرده در سایه (نیمه شمالی) داشتند. همچنین، نتایج مقدار تأثیرپذیری از محیط نشان داد که ویژگی محتوای آب نسبی برگ، بیشترین میانگین تغییرات در برگ‌های جمع‌آوری‌شده از سمت نورگیر تاج و سایه را داشت (به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸۱) (شکل ۲). با توجه به اینکه در بین صفات بررسی‌شده، ویژگی محتوای آب نسبی، بیشترین تأثیرپذیری از محیط را نشان داد، از این رو می‌توان ذکر کرد که این ویژگی، عامل مهمی در توصیف صفات برگ راش نسبت به تغییرات آب‌وهوایی است. Poulos و همکاران

تأثیرپذیری از محیط ویژگی‌های فیزیولوژیکی بیشتر از ویژگی‌های ریخت‌شناسی بود (جدول ۵). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت پلاستیستی فیزیولوژیکی برای سازگاری گیاهان در مقابله با تغییرات محیطی است (Matos *et al.*, 2009). نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج مطالعات Guo و همکاران (۲۰۱۶)، Gratani و همکاران (۲۰۰۶) و Valladares و همکاران (۲۰۰۰) هم‌سو است. Valladares و همکاران (۲۰۰۰) با مطالعه ۱۶ گونه درختچه‌ای جنگل‌های بارانی گزارش دادند که میانگین تأثیرپذیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی بیشتر از ویژگی‌های ریخت‌شناسی بود. بررسی اثرپذیری ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی از محیط در گونه‌های *Crepis pygmaea* و *Isatis apennina* نشان داد که این گونه‌ها، تأثیرپذیری فیزیولوژیکی بیشتری نسبت به تأثیرپذیری ریخت‌شناسی در سطح جمعیت و در سطح گونه داشتند (Gratani *et al.*, 2012).

نتایج تأثیرپذیری صفات از محیط نشان داد که اکثر صفات بررسی‌شده در ارتفاعات بالاتر، بیشترین مقدار تأثیرپذیری را داشتند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل راش در حرکت به سمت جمعیت‌های بالاتر در پاسخ به تغییر در شرایط محیطی باشد (Gratani *et al.*, 2012). به‌طور کلی می‌توان گفت که موقعیت قرارگیری برگ‌ها بر روی تاج درختان و تفاوت در مقدار نور دریافتی نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان می‌تواند از عوامل تغییر در فعالیت عملکردی و تفاوت در محتوای فیزیولوژیکی برگ در پاسخ به تغییرات ارتفاعی باشد. جمعیت‌های راش با تغییر در ویژگی‌های برگ در ارتفاعات مختلف به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند. در نتیجه، این گونه ظرفیت زیادی در مقابله با شرایط تغییر یافته برای تاج‌بوشش فراهم می‌کند.

به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی برگ راش در پاسخ به تغییرات محیطی واکنش نشان دادند و دستخوش تغییر شدند. همچنین، به استناد نتایج

ارتفاع دوم تا ارتفاع سوم شد. همچنین، با افزایش ارتفاع، نسبت کلروفیل a/b در دو نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان افزایش یافت که نشان‌دهنده تشدید انباشت کلروفیل b است. Caudle و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که مقدار زیاد نسبت کلروفیل a/b شاخصی برای سازگاری گیاه با خشکی است. در پژوهش پیش‌رو، نسبت زیاد کلروفیل a/b در نیمه جنوبی می‌تواند در نتیجه نرخ بیوسنتز کلروفیل در برگ‌ها با افزایش نور و دما باشد. در همین زمان، تجمع کلروفیل در نیمه شمالی با توجه به تغییرات محیطی انجام‌شده در طول گردان ارتفاعی کاهش یافت. نتایج این پژوهش با نتایج Rajsnerová و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با تغییرات مقدار کلروفیل برگ درختان راش اروپایی در تغییرات ارتفاعی و موقعیت تاج‌بوشش هم‌خوانی دارد. در پژوهش پیش‌رو، بیشترین محتوای کاروتنوئید برگ در ارتفاع بالا (۱۷۰۰ متر) و در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از نیمه شمالی تاج درختان مشاهده شد. مقدار زیاد کاروتنوئید در برگ‌ها باعث جذب بیشتر اشعه UV-B در ارتفاعات بالاتر می‌شود (Caldwell *et al.*, 1980). همچنین، محتوای زیاد کاروتنوئید در ارتفاعات بالاتر می‌تواند بخشی از نور را جذب کند تا از مولکول‌های کلروفیل محافظت کند (Guo *et al.*, 2016). کم بودن مقدار کاروتنوئید در ارتفاعات پایین کمک می‌کند تا جذب انرژی نور کم شود و از واکنش‌هایی که منجر به کاهش بهره‌وری فتوسنتز در نور زیاد و پراکسیداسیون می‌شود، جلوگیری کند (Rajsnerová *et al.*, 2015).

مقدار اسیدآمینو پرولین در نمونه‌های بررسی‌شده در دو نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. همچنین، میانگین تأثیرپذیری از محیط برای پرولین در نیمه جنوبی نسبت به نیمه شمالی بیشتر بود. این موضوع بیانگر آن است که گرمای دریافتی برگ‌ها در نیمه جنوبی باعث افزایش غلظت پرولین شد. نتایج تأثیرپذیری از محیط ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی نشان داد که میانگین

- Hatziskakis, S., Tsiripidis, I. and Papageogiou, A.C., 2011. Leaf morphological variation in beech (*Fagus sylvatica* L.) populations in Greece and its relation to their post-glacial origin. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 165(4): 422-436.
- Jump, A.S. and Peñuelas, J., 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*, 8(9): 1010-1020.
- Lykholat, Y., Khromyk, N., Ivan'ko, I., Kovalenko, I., Shupranova, L. and Kharytonov, M., 2016. Metabolic responses of steppe forest trees to Altitude-Associated local environmental changes. *Agriculture & Forestry*, 62(2): 163-171.
- Matos, F.S., Wolfgramm, R., Gonçalves, F.V., Cavatte, P.C., Ventrella, M.C. and DaMatta, F.M., 2009. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2): 421-427.
- Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637-669.
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I.J. and Villar, R., 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, 182(3): 565-588.
- Poulos, H.M., Berlyn, G.P. and Mills, S.A., 2012. Differential stress tolerance of four pines (Pinaceae) across the elevation gradient of the San Bernardino Mountains, Southern California, USA. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 139(1): 96-108.
- Rajsnerová, P., Klem, K., Holub, P., Novotná, K., Večřová, K., Kozáčiková, M., Rivas-Ubach, A., Sardans, J., Marek, M.V., Peñuelas, J. and Urban, O., 2015. Morphological, biochemical and physiological traits of upper and lower canopy leaves of European beech tend to converge with increasing altitude. *Tree Physiology*, 35(1): 47-60.
- Sletvold, N. and Ågren, J., 2012. Variation in tolerance to drought among Scandinavian populations of *Arabidopsis lyrata*. *Evolutionary Ecology*, 26(3): 559-577.
- Stojnić, S., Orlović, S., Miljković, D. and von Wuehlisch, G., 2016. Intra- and interprovenance variations in leaf morphometric traits in European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Archives of Biological Sciences*, 68(4): 781-788.
- Toscano, S., Farieri, E., Ferrante, A. and Romano, D., 2016. Physiological and biochemical responses in two ornamental shrubs to drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7: 12p.

این پژوهش، بیشترین تأثیرپذیری از محیط در ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ مشاهده شد.

References

- Ahmadi, M.T., Attarod, P., Marvi Mohadjer, M.R., Rahmani, R. and Fathi, J., 2009. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during the growing season. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(6): 557-568.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23: 112-121.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1): 205-207.
- Bradshaw, W.E. and Holzapfel, C.M., 2006. Evolutionary response to rapid climate change. *Science*, 312(5779): 1477-1478.
- Caldwell, M.M., Robberecht, R. and Billings, W.D., 1980. A steep latitudinal gradient of solar ultraviolet-B radiation in the arctic-alpine life zone. *Ecology*, 61(3): 600-611.
- Caudle, K.L., Johnson, L.C., Baer, S.G. and Maricle, B.R., 2014. A comparison of seasonal foliar chlorophyll change among ecotypes and cultivars of *Andropogon gerardii* (Poaceae) by using nondestructive and destructive methods. *Photosynthetica*, 52(4): 511-518.
- Grahame, J.W., Wilding, C.S. and Butlin, R.K., 2006. Adaptation to a steep environmental gradient and an associated barrier to gene exchange in *Littorina saxatilis*. *Evolution*, 60(2): 268-278.
- Gratani, L., 2014. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in Botany*, 17p.
- Gratani, L., Catoni, R., Pirone, G., Frattaroli, A.R. and Varone L., 2012. Physiological and morphological leaf trait variations in two Apennine plant species in response to different altitudes. *Photosynthetica*, 50(1): 15-23.
- Gratani, L., Covone, F. and Larcher, W., 2006. Leaf plasticity in response to light of three evergreen species of the Mediterranean maquis. *Trees*, 20(5): 549-558.
- Guo, Q.Q., Li, H. and Zhang, W.H., 2016. Variation in leaf functional traits and physiological characteristics of *Abies georgei* Var. *smithii* along the altitude gradient in the southeastern Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 13(10): 1818-1828.

- Functional Ecology, 24(6): 1211-1218.
- Wright, I.J., Reich, P.B., Westoby, M., Ackerly, D.D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J.H.C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P.K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B.B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., Midgley, J.J., Navas, M.L., Niinemets, Ü., Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V.I., Roumet, C., Thomas, S.C., Tjoelker, M.G., Veneklaas, E.J. and Villar, R., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985): 821-827.
 - Zhong, M., Wang, J., Liu, K., Wu, R., Liu, Y., Wei, X., Pan, D. and Shao, X., 2014. Leaf morphological shift of three dominant species along altitudinal gradient in an alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Polish Journal of Ecology*, 62(4): 639-648.
 - Taguchi, Y. and Wada, N., 2001. Variations of leaf traits of an alpine shrub *Sieversia pentapetala* along an altitudinal gradient and under a simulated environmental change. *Polar Biosci*, 14: 79-87.
 - Valladares, F., Wright, S.J., Lasso, E., Kitajima, K. and Pearcy, R.W., 2000. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecology*, 81(7): 1925-1936.
 - Villar-Salvador, P., Planelles, R., Oliet, J., Peñuelas-Rubira, J.L., Jacobs, D.F. and González, M., 2004. Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology*, 24(10): 1147-1155.
 - Vitasse, Y., Bresson, C.C., Kremer, A., Michalet, R. and Delzon, S., 2010. Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species.

Effect of elevation gradient on morphological and physiological responses of *Fagus orientalis* Lipsky leaves in Guilan forests

M. Mohebi Bijarpasi^{1*}, T. Rostami Shahraji² and H. Samizadeh Lahiji³

1* - Corresponding author, Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran. E-mail: mahboob.mohebi@gmail.com

2- Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran

3- Prof., Department of Plant Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 14.11.2018

Accepted: 12.02.2019

Abstract

Assessing the changes in plant functional traits along the gradients is useful to understand their adaptation and response to the global and local environmental drivers. In order to determine the effect of elevation on morphological and physiological responses of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky), samples of leaves were collected from southern and northern parts of trees crown at 700 m, 1200 m and 1700 m a.s.l in Masal forests of Guilan province. Analysis of variance showed a significant difference among the morphological and physiological characteristics between the populations ($p < 0.05$). The results also showed that the leaf area, specific leaf area and relative water content of the samples collected from the two parts of crowns increased with the increasing elevation and decreased from 1200m to 1700m. Furthermore, Chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid content in three different altitudes were higher in northern part of the crown of the trees. The results of the mean comparison of carotenoid contents showed that with increasing altitude (from low to high altitude), the amount of carotenoid in both parts of the crown increased. Moreover, the plasticity in northern and southern directions of the crowns suggested that highest plasticity on the northern direction was observed for carotenoids (0.6), whereas it was 0.84 in the southern half for the ratio of Chl a/Chl b. In terms of morphological properties, the highest average impact of the plasticity in the northern and southern parts of the crown were observed in the relative water content (respectively, 0.81 and 0.9). The average physiological plasticity increased among elevation gradients and showed higher values than morphological traits. Conclusively, the results of this study showed that beach populations respond to environmental changes by changing in leaf traits at different altitudes.

Keywords: Adaptation, chlorophyll, elevation gradient, Guilan, leaf traits, plasticity.