

## بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان راش شرقی نسبت به تغییرات محیطی در طول گرادیان ارتفاعی (مطالعه‌ی موردی: جنگل‌های گیلان، ماسال)

محبوبه محبی بیجارپاسی، تیمور رستمی شاهراجی و حبیب‌الله سمیع‌زاده لاهیجی\*

دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲ ویرایش: ۱۳۹۷/۱/۱۴ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۴ انتشار: ۱۳۹۷/۶/۲۹

گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\*مسئول مکاتبات: hsamizadeh@guilan.ac.ir

**چکیده.** به منظور درک سازوکار سازگاری اکوفیزیولوژی راش شرقی *Fagus orientalis* Lipsky نسبت به تغییرات ارتفاعی، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی شامل پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (۷۰۰ متر، ۱۲۰۰ متر و ۱۷۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا) در جنگل‌های گیلان تحت مطالعه قرار گرفت. نمونه‌برداری از برگ‌های واقع در نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان سالم و بالغ راش شرقی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میان و درون جمعیت برای فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در سطح احتمال ۰/۰۵ وجود داشت و با افزایش ارتفاع، میزان فعالیت کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافت، اما فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ابتدا افزایشی بود و از ارتفاع میانه با افزایش ارتفاع میزان فعالیت آن کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که فعالیت آنزیمی پراکسیداز و کاتالاز در برگ‌های جمع‌آوری شده از نیمه شمالی درختان نسبت به برگ‌های جمع‌آوری شده از نیمه جنوبی درختان بیش‌تر بود.

**واژه‌های کلیدی.** اکسیژن فعال، ایران، تغییرات اقلیم، سازگاری، شاخص‌های اکوفیزیولوژی

## Study of antioxidant enzymes activity of *Fagus orientalis* Lipsky to environmental changes along altitude gradient (case study: Guilan forests, Masal)

Mahboobe Mohebi Bijarpasi, Teymuor Rostami Shahraji & Habiboala Samizadeh Lahiji\*

Received 22.01.2018/ Revised 03.04.2018/ Accepted 24.04.2018/ Published 20.09.2018

Department of Silvicultural and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran

Correspondent author: hsamizadeh@guilan.ac.ir

**Abstract.** To understand the Eco physiological adaptation mechanisms of *Fagus orientalis* Lipsky to altitude changes, the activities of Peroxidase (POD), Catalase (CAT), and Ascorbate peroxidase (APX) in leaves of *Fagus orientalis* in different altitudes (A1: 700 m, A2: 1200 m, A3: 1700 m above sea level) was studied in the forests of Guilan. Samples of leaves were collected from southern and northern parts of the crown of healthy and mature trees. The results of analysis variance showed that there was a significant difference between and within the population for the activity of catalase and peroxidase enzymes at the probability level of 0.05. With the increase of altitude, the activity of catalase and peroxidase increased but the activity of Ascorbate peroxidase enzyme initially increased and subsequently decreased as the elevation went higher from the middle altitude. Also, the results showed that the enzymatic activity of peroxidase and catalase in the leaves gathered from the tree-crown of the northern part was more than those of the southern part.

**Keywords.** adaptability, climate change, Iran, physicoecological indices, reactive oxygen

## مقدمه

(Espahbodi, 2005; 2011). پراکسیدازها در بسیاری از فرایندهای یاخته‌ای مانند متابولیسم اکسین، تشکیل چوب، اتصالات عرضی در دیواره یاخته گیاهی، پاسخ به تنش‌های محیطی و مانند آن شرکت می‌کنند (Yamasaki et al., 1997). کاتالازها برای سم‌زدایی ROSها در مدت شرایط تنش ضروری است. آسکوربات پراکسیداز ضروری‌ترین نقش را در مهار ROS برعهده دارد و سلول‌ها را در گیاهان عالی، جلبک‌ها، *Euglena* و دیگر موجودات محافظت می‌کند. آسکوربات پراکسیداز میل ترکیبی بیش‌تری به  $H_2O_2$  (در محدوده میلی‌مولار) نسبت به کاتالاز و پراکسیداز (در محدوده میلی‌مولار) دارد و ممکن است نقش مهمی در مدیریت ROS در طول تنش داشته باشد (Gill & Tuteja, 2010). Zhua و همکاران (2010)، با مطالعه بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی روی گونه *Calligonum roborovskii* در ارتفاعات مختلف نشان دادند که میزان پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در ارتفاعات مختلف متغیر است و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش اساسی در حفاظت سلول‌ها در برابر محصولات اکسیژن فعال ایفا می‌کنند. Babaei و همکاران (2016) ویژگی‌های بیوشیمیایی نهال‌های *Quercus C.A.Mey castaneifolia* در پروونانس‌های مختلف را بررسی کردند و بیان کردند که میزان محتوای آنزیم پراکسیداز بازتاب دقیقی از میزان نور دریافتی در ارتفاعات مختلف را نشان می‌دهد. Lykholat و همکاران (2016) پاسخ‌های سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و فتوسنتزی برگ درختان گونه‌های *Quercus robur L.* و *Fraxinus excelsior L.* را در پاسخ به تغییرات ارتفاعی تحت بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که میزان محتوای آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و همچنین محتوای کلروفیل برگ در طول تغییرات ارتفاعی، تغییر می‌کند. Everest و Keles (2008) و Zolfaghari و همکاران (2010) در نتایج مطالعات خود بیان داشتند که سطوح بالاتری از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای سازگاری با ارتفاعات بالا در گونه‌های درختی و درختچه‌ای مورد نیاز است. سازوکار سازگاری متابولیسم درختان با عوامل محیطی جنبه مهمی از مسائل حفاظت از جنگل است. این موضوع در سال‌های اخیر به شدت تحت مطالعه قرار گرفته است. Sofo و همکاران (2005) با مطالعه‌ی اثر استرس خشکی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز،

همراه با افزایش ارتفاع عوامل محیطی از جمله دما، رطوبت، فشار هوا و میزان تابش نور خورشید تغییر می‌کند. همراه با تغییرات عوامل محیطی، تغییر در ساختار و فیزیولوژی گیاهان در طول گرادیان ارتفاعی مشاهده شده است. در ارتفاعات بالاتر نسبت به ارتفاعات پایین‌تر گیاهان در معرض تابش بیش‌تر، نوسانات دمایی زیاد، سرعت باد بیش‌تر، و همچنین فشار جزیی گازها و محدودیت آب و مواد مغذی قرار می‌گیرند و این ممکن است پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی درختان را تحت‌تاثیر قرار دهد (Karner, 1998). ترکیبات استرس‌زای زیست‌محیطی (درجه حرارت پایین، شدت نور و خشکی) در ارتفاعات بالا می‌تواند باعث افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال شود که محتوای زیاد و سمی آن به تخریب پروتئین‌ها، چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و DNA و سرانجام به مرگ سلولی منجر می‌شود که نتیجه تنش اکسیداتیو است (Gill & Tuteja, 2010). تمام گیاهان برای زنده ماندن باید با استرس اکسیداتیو روبرو شوند و از استراتژی‌های دفاعی مختلفی برای کاهش اثرات مضر تولیدات اکسیژن فعال (ROS) استفاده کنند. کاهش و یا افزایش فعالیت‌های آنزیمی، یکی از راه‌های مقابله و یا تحمل تنش‌ها است. همراه با تغییرات تدریجی ارتفاع، گیاه خود را با این تغییرات سازگار می‌کند. سازگاری می‌تواند با تغییر در محتوای بسیاری از متابولیت‌ها و نیز آنزیم‌هایی مثل پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز باشد. گونه‌های اکسیژن فعال، با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و پراکسیداز و همچنین با مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات خنثی و غیرفعال می‌شوند. از آنجایی که ظرفیت و پاسخ سیستم‌های آنتی-اکسیدانی به توانایی گیاهان برای مقاومت در برابر استرس‌های اکسیداتیو کمک می‌کند، تحقیق درباره اقدامات حفاظتی به‌ویژه درباره نوسانات شرایط محیطی در گونه‌های درختان مورد توجه قرار گرفته است (Polle, 1996). طبق مطالعات انجام‌شده، آنزیم‌هایی همچون پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز در تعداد زیادی از گونه‌های جنگلی مثل بارانک، صنوبر، راش، افرا، بلوط، سدر و نظایر اینها با هدف‌های مختلفی همچون بررسی تنوع، انتخاب پایه‌ها یا اکوتیپ‌های مقاوم به تنش در درون یا میان جمعیت‌ها و غیره مورد استفاده قرار گرفته و کارایی آنها مطلوب ارزیابی شده است (Babaei et al., 2012; Raeisi et al.,

از جمع‌آوری در نیتروژن مایع ذخیره شده و به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۸۰- نگهداری شد.

### بررسی آنزیم‌ها

در این مطالعه فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، آسکوربات-پراکسیداز و کاتالاز اندازه‌گیری شد. به منظور استخراج، برگ‌های فریزشده راش شرقی (*F. orientalis*) در هاون چینی ریخته و نیتروژن مایع به آن اضافه شد. سپس برگ‌ها به خوبی کوبیده تا کاملاً خرد شوند. به مقدار ۰/۵ گرم از پودر برگ آسیاب‌شده به میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل و با افزودن یک میلی‌لیتر از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار ورتکس و سپس به مدت ۱۵ دقیقه با دور rpm ۱۴۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفوژ شد. پس از اتمام سانتریفوژ عصاره رویی با استفاده از سمپلر برداشته و به میکروتیوب‌های ۱/۵ میلی‌لیتری منتقل شدند و مجدد به مدت ۱۰ دقیقه با دور rpm ۱۴۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفوژ شدند. پس از اتمام سانتریفوژ عصاره رویی با استفاده از سمپلر برداشته و به میکروتیوب‌های با همان حجم منتقل شد. میکروتیوب‌های حاوی عصاره در زمان سایش برگ‌ها و سانتریفوژ نمونه‌های دیگر در داخل ظرف یخ نگهداری شد (Beauchamp & Fridovich, 1971). از این عصاره برای سنجش محتوای آنزیم‌های پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و کاتالاز استفاده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، با استفاده از روش Cesar و همکاران (2010) در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه تحت سنجش قرار گرفت. محتوای آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) به روش Asada و Nakano (1999) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ برای ۱ دقیقه ثبت شد. محتوای آنزیم کاتالاز (CAT) در طول موج ۲۴۰nm برای ۱ دقیقه به روش چنس و ماهلی (Chance & Kolmogorov-Sm, 1955) انجام شد. از آزمون Kolmogorov-Sm-irnov برای نرمال کردن داده‌ها استفاده شد و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب یک طرح آماری آشیانه‌ای (Nested ANOVA) با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار SAS (var 9) انجام شد.

تعیین شاخص پلاستیسیته فیزیولوژیکی

شاخص پلاستیسیته فیزیولوژیکی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Qipeng et al., 2008):

$$PPI = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_{max}}$$

کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز درختان زیتون نشان دادند که با افزایش شدت خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز در برگ و ریشه‌های گونه‌های زیتون افزایش یافت. برگ‌ها مهم‌ترین اندام‌های فتوسنتز گیاهان هستند که واکنش سریع و حساس نسبت به تغییرات محیطی از خود نشان می‌دهند. بنابراین، پاسخ ویژگی‌های عمل‌کردی برگ و فعالیت‌های آنزیمی می‌تواند سازوکارهای انطباق‌پذیری ویژه گیاهان را در شرایط خاص محیطی نشان دهد. گونه راش شرقی (*Fagus orientalis*) از جمله گونه‌های صنعتی ارزشمند جنگل‌های شمال ایران است که در چرخه توالی و تکاملی این جنگل‌ها نقش مهمی دارد، به طوری که در دامنه‌های ارتفاع ۲۰۰۰-۷۰۰ متر از سطح دریا، یکی از گونه‌های اصلی و کلیماکس جنگل‌های شمال محسوب می‌شود. بنابراین با توجه به مباحث فوق در این مطالعه روند تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های برگ گونه راش شرقی در پاسخ به تغییرات ارتفاعی بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق سه رویشگاه درختان راش در طول یک ترانسکت ارتفاعی در جنگل‌های ماسال در استان گیلان انتخاب شد. این منطقه بین عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 14' 00''$  و  $37^{\circ} 19' 20''$  و طول جغرافیایی  $48^{\circ} 55' 19''$  و  $49^{\circ} 02'$  واقع شده است. از آنجایی که هدف از این تحقیق بررسی تغییرات بیوشیمیایی در طول گرادیان ارتفاعی بود، بنابراین با توجه به دامنه ارتفاعی گونه راش شرقی سه ارتفاع ۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ متر از سطح دریا مشخص شد (جدول ۱). میانگین درجه حرارت سالیانه این منطقه  $21/3$  درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۹۲۶ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت هوا در طول دوره رویش  $26/6$  درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی در این دوره ۳۹۴ میلی‌متر است. در هر ارتفاع ۱۰ پایه درختی سالم به طور تصادفی انتخاب شد و در مرداد ماه، روی هر پایه درخت ۲۰ برگ سالم و بالغ از قسمت میانی (Bayramzadeh, 2011) و از ناحیه بیرونی تاج درختان (شمالی و جنوبی) جمع‌آوری شد (Hatziskakis et al., 2011). نمونه‌های برگ به طور جداگانه برای هر اصله درخت بلافاصله بعد

## جدول ۱- مشخصات منطقه‌ی تحت مطالعه.

Table 1. Specifications of the study areas.

ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شیب (%)	جهت
۷۰۰ (پایین)	۳۷° ۱۶' ۳۰"	۴۸° ۵۴'	۲۵-۳۰	شمال-شمال شرقی
۱۲۰۰ (میانه)	۳۷° ۱۷' ۴۰"	۴۸° ۵۷'	۳۵-۴۰	شرقی-جنوب شرقی
۱۷۰۰ (بالا)	۳۷° ۱۸' ۶۰"	۴۸° ۵۸' ۳۰"	۶۰-۶۵	شمال-شمال شرقی

جدول ۲- تغییرات میزان فعالیت آنزیم‌های تحت مطالعه برگ درختان راش شرقی در جهت‌های شمالی و جنوبی تاج درختان در طول تغییرات ارتفاعی.

Table 2. Changes in the activity of the enzymes studied in the beech leaves in northern and southern axes of the tree crown along different altitudinal gradient.

آنزیم	جهت جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا		
		۷۰۰ m a.s.l.	۱۲۰۰ m a.s.l.	۱۷۰۰ m a.s.l.
پراکسیداز	شمالی	۰/۰۰۲۹±۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۹±۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۸±۰/۰۰۸۰
	جنوبی	۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۷±۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۹±۰/۰۰۵۳
کاتالاز	شمالی	۰/۰۰۰۴±۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۶۷±۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۱۱±۰/۰۰۳۵
	جنوبی	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۶۱±۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۷۱±۰/۰۰۲۶
آسکوربات پراکسیداز	شمالی	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰۰۰۲
	جنوبی	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰۰۰۲

## جدول ۳- نتایج تحلیل واریانس با طرح آشیانه‌ای فعالیت آنزیمی در طول تغییرات ارتفاعی.

Table 3. Results of nested crossed analysis of variance for enzyme activity along different altitudinal gradient.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		پراکسیداز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز
جمعیت	۲	۰/۰۰۴*	۰/۰۰*	۱/۶۰۸ <sup>ns</sup>
جهت	۱	۰/۰۰۱*	۴/۶۸۲*	۴/۱۶۷ <sup>ns</sup>
جمعیت × جهت	۲	۰/۰۰۱*	۵/۴۱۹*	۱/۲۷۵ <sup>ns</sup>
خطا		۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۵/۰۰۳
ضریب تغییرات		۸۲/۴۸	۸۸/۵۹	۲۹/۴۰

<sup>ns</sup> و \* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪

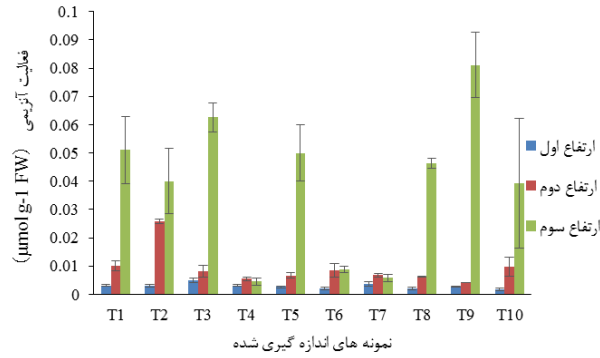
ns and \* respectively not significant and significant at 5% level

جنوبی تاج درخت بود (جدول ۲، شکل ۳). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در نیمه شمالی تاج درختان همراه با افزایش ارتفاع کاسته شد و در نیمه جنوبی تا ارتفاع ۱۲۰۰ متر روند افزایشی داشته و سپس همراه با افزایش ارتفاع مجدداً کاسته شد (جدول ۲). اختلاف معنی‌داری در میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در میان و درون جمعیت مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج میزان پلاستیسیته فیزیولوژیکی (PPI) نشان داد که آنزیم پراکسیداز بیشترین میزان پلاستیسیته (۰/۷۶۵) را از خود نشان داد و آنزیم آسکوربات پراکسیداز هم کمترین میزان پلاستیسیته (۰/۴۹۹) فیزیولوژیکی را از خود نشان داد. نتایج به دست آمده نشان داد که در هر سه آنزیم پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز نمونه‌های جمع‌آوری شده از نیمه شمالی و رشد کرده در سایه، پلاستیسیته بیشتری (به ترتیب ۰/۸۰۴، ۰/۷۷۳ و ۰/۶۱۶) نسبت نمونه‌های جمع‌آوری شده از نیمه جنوبی دارند (جدول ۴).

در این فرمول PPI پلاستیسیته آنزیم مورد نظر،  $X_{min}$  و  $X_{max}$  حداکثر و حداقل مقدار آنزیم در ارتفاعات و جهات مختلف است.

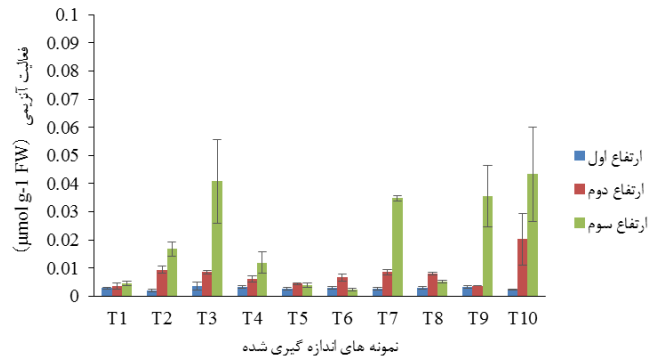
## نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز اختلاف معنی‌داری را در میان و درون جمعیت دارد. همچنین اختلاف معنی‌داری در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در میان و درون جمعیت مشاهده شد. پاسخ درخت‌های تحت مطالعه نسبت به تغییرات ارتفاعی یکسان نبود. فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ‌های درختان راش روند افزایشی را در دو نیمه تاج درخت نشان داد و این افزایش به نحوی بود که فعالیت آنزیم در نیمه شمالی تاج درختان بیشتر از نیمه جنوبی مشاهده شد (جدول ۲، شکل‌های ۱ و ۲). فعالیت آنزیم کاتالاز نیز با افزایش ارتفاع دچار تغییرات شد و همانند فعالیت آنزیمی پراکسیداز، در نیمه شمالی بیشتر از نیمه



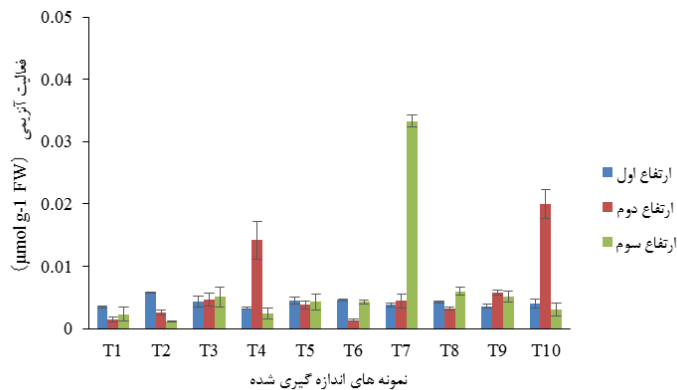
**شکل ۱-** فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌های جهت شمالی تاج درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>10</sub> معرف درختان نمونه برداری شده در ارتفاع اول (۷۰۰ متر)، ارتفاع دوم (۱۲۰۰ متر) و ارتفاع سوم (۱۷۰۰ متر) به همراه اشتباه معیار مقادیر اندازه گیری شده).

**Fig. 1.** Peroxidase enzyme activity in the northern direction leaves of the *F. orientalis* trees crown at different altitudes (T1 to T10 represents the trees sampled at the first altitude (700 m), the second altitude (1200 m) and the third altitude (1700 m), with the standard error of measured values).



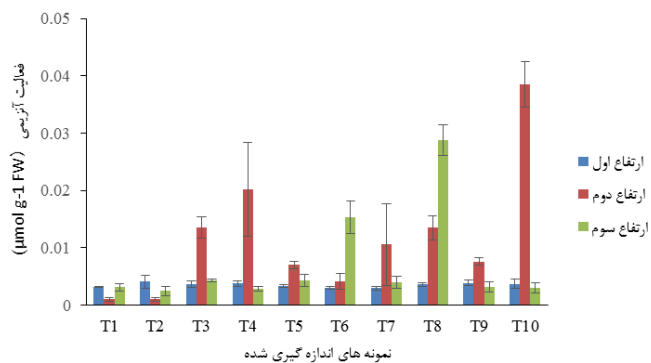
**شکل ۲-** فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌های جهت جنوبی تاج درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>10</sub> معرف درختان نمونه برداری شده در ارتفاع اول (۷۰۰ متر)، ارتفاع دوم (۱۲۰۰ متر) و ارتفاع سوم (۱۷۰۰ متر) به همراه اشتباه معیار مقادیر اندازه گیری شده).

**Fig. 2.** Peroxidase enzyme activity in the Southern direction leaves of the *F. orientalis* trees crown at different altitudes (T1 to T10 represents the trees sampled at the first altitude (700 m), the second altitude (1200 m) and the third altitude (1700 m), with the standard error of measured values).



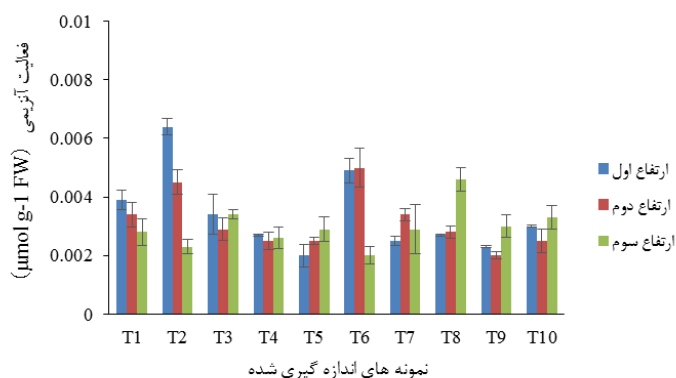
**شکل ۳-** فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های جهت شمالی تاج درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>10</sub> معرف درختان نمونه برداری شده در ارتفاع اول (۷۰۰ متر)، ارتفاع دوم (۱۲۰۰ متر) و ارتفاع سوم (۱۷۰۰ متر) به همراه اشتباه معیار مقادیر اندازه گیری شده).

**Fig. 3.** Catalase enzyme activity in the northern direction leaves of the *F. orientalis* trees crown at different altitudes (T1 to T10 represents the trees sampled at the first altitude (700 m), the second altitude (1200 m) and the third altitude (1700 m), with the standard error of measured values).



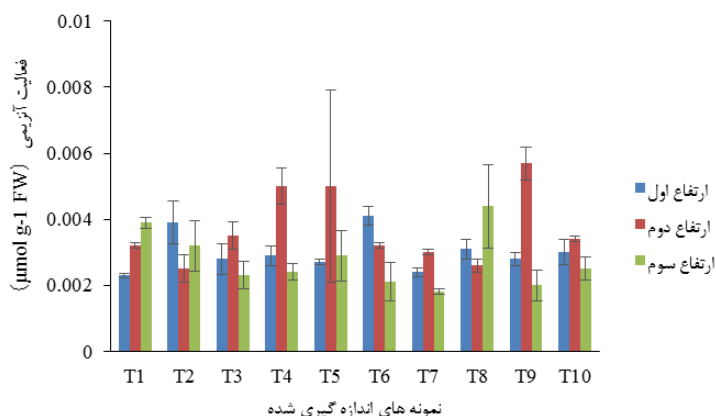
**شکل ۴-** فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های جهت جنوبی تاج درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>10</sub> معرف درختان نمونه‌برداری شده در ارتفاع اول (۷۰۰متر)، ارتفاع دوم (۱۲۰۰متر) و ارتفاع سوم (۱۷۰۰متر) به همراه اشتباه معیار مقادیر اندازه‌گیری شده).

**Fig. 4.** Catalase enzyme activity in the Southern direction leaves of the *F. orientalis* trees crown at different altitudes (T1 to T10 represents the trees sampled at the first altitude (700 m), the second altitude (1200 m) and the third altitude (1700 m), with the standard error of measured values).



**شکل ۵-** فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های جهت شمالی تاج درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>10</sub> معرف درختان نمونه‌برداری شده در ارتفاع اول (۷۰۰متر)، ارتفاع دوم (۱۲۰۰متر) و ارتفاع سوم (۱۷۰۰متر) به همراه اشتباه معیار مقادیر اندازه‌گیری شده).

**Fig. 5.** Ascorbate peroxidase enzyme activity in the northern direction leaves of the *F. orientalis* trees crown at different altitudes (T1 to T10 represents the trees sampled at the first altitude (700 m), the second altitude (1200 m) and the third altitude (1700 m), with the standard error of measured values).



**شکل ۶-** فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های جهت جنوبی تاج درختان راش شرقی در ارتفاعات مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>10</sub> معرف درختان نمونه‌برداری شده در ارتفاع اول (۷۰۰متر)، ارتفاع دوم (۱۲۰۰متر) و ارتفاع سوم (۱۷۰۰متر) به همراه اشتباه معیار مقادیر اندازه‌گیری شده).

**Fig. 6.** Ascorbate peroxidase enzyme activity in the southern direction leaves of the *F. orientalis* trees crown at different altitudes (T1 to T10 represents the trees sampled at the first altitude (700 m), the second altitude (1200 m) and the third altitude (1700 m), with the standard error of measured values).

**جدول ۴- میزان پلاستیسیته فیزیولوژیکی (PPI) راش شرقی در ارتفاعات مختلف.**

**Table 4. Physiological plasticity (PPI) of *F.orientalis* at different altitudes.**

میزان پلاستیسیته (PPI)		ارتفاع (m)	جهت	آنزیم
میانگین	مقدار			
۰/۷۶۵	۰/۸۰۴	۰/۶۳۲۶	شمالی	پراکسیداز
		۰/۸۳۷۲		
		۰/۹۴۴۵		
	۰/۷۲۶	۰/۴۱۶۶	جنوبی	
		۰/۸۱۶۸		
		۰/۹۴۹۳		
۰/۷۴۴	۰/۷۷۳	۰/۴۳۱	شمالی	کاتالاز
		۰/۹۳		
		۰/۹۶۶۹		
	۰/۷۱۶	۰/۲۶۸۲	جنوبی	
		۰/۹۷۴		
		۰/۹۱۳		
۰/۴۹۹	۰/۶۱۶	۰/۶۸۷	شمالی	آسکوربات پراکسیداز
		۰/۶		
		۰/۵۶۵		
	۰/۳۸۳	۰/۴۳۹	جنوبی	
		۰/۵۶۱		
		۰/۵۹		

## بحث

های محیطی حساس است و قادر است  $H_2O_2$  موجود در بافت گیاه که در مواقع استرس تولید می‌شود را خنثی کند (Saho & Mishrah, 1985; Sagisaka, 1987). شرایط نامطلوب محیطی مانند کاهش رطوبت خاک، کاهش بارندگی و افزایش خشکی و تابش نور خورشید تغییراتی را در محتوای آنزیم پراکسیداز ایجاد می‌کند که باعث سازگاری گیاه با شرایط نامطلوب می‌شود. در مطالعه حاضر، نتایج بررسی تغییرات آنزیم پراکسیداز در طول تغییرات ارتفاعی نشان داد که پایه‌های موجود در ارتفاع بالا دارای بیشترین فعالیت آنزیم و پایه‌های موجود در رویشگاه پایین دارای کمترین فعالیت آنزیم بودند و از این لحاظ ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا به عنوان گروه بینابینی معرفی شد (جدول ۲). همچنین فعالیت پراکسیداز در برگ‌های برداشت شده از نیمه شمالی تاج درختان فعالیت بیشتری نسبت به برگ‌های جمع‌آوری شده از نیمه جنوبی تاج درختان را نشان داد (جدول ۲). افزایش فعالیت پراکسیداز پاسخی از جانب گیاه به افزایش ROSها است. آنزیم پراکسیداز یکی از آنزیم‌های اکسیدکننده ترکیبات فنلی بوده و نقش مهمی را در افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی (Agarwal & Pandey, 2004)، چوب‌سازی، متابولیسم اکسیداتیو، تحمل

پوشش گیاهی در ارتفاعات بالاتر شامل گیاهانی است که با دمای پایین‌تر و شرایط تابش بالا سازگار شده‌اند. این سازگاری‌ها با تغییرات سریع متابولیک و بازسازی بیوشیمیایی که شامل ترکیبات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است، همراه است (Öncel et al., 1998; Rundel et al., 2004). وجود فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مختلف برای انعطاف‌پذیری در برابر این تغییرات ضروری است (Germino & Smith, 2000; Streb et al., 1998; Wildi & Lütz, 1996). در این مطالعه همراه با افزایش ارتفاع، میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز روند افزایشی را نسبت به تغییرات ارتفاعی از خود نشان دادند. تحت شرایط عادی، سلول‌های گیاهی قادر به حفظ تعادل بین تولید ROS و پخش آنها هستند، اما تحت استرس محیطی طولانی مدت، ROS انباشته شده و به آسیب منجر می‌شود. ROS شامل  $O_2$  و  $OH^-$  است (Cadenas, 1989). نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع بر فعالیت آنزیم پراکسیداز افزوده می‌شود. آنزیم پراکسیداز که در اغلب گونه‌های گیاهی یافت می‌شود، شاخص تغییرات فیزیولوژیک در گیاهان است. این آنزیم نسبت به تنش -



بنابراین، نتایج حاکی از تغییرات متابولیکی قابل توجه در برگ‌های راش شرقی در طول ارتفاعات است. احتمالاً این تغییرات می‌تواند تجمع قندها و فنول‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، از آنجایی که Allison و Schultz (2004) تأکید کردند که پراکسیدازها نقش مهمی در این مسیرهای سوخت‌وساز دارند. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌ها نیز مانند پراکسیداز با رشد ارتفاع افزایش یافته است. Lykholat و همکاران (2016) به بررسی اثر ارتفاع بر فعالیت آنزیمی کاتالاز برگ‌های بلوط و زبان گنجشک پرداختند و در مجموع، نتایج افزایش دخالت کاتالاز را در فرایندهای آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های بلوط و زبان گنجشک همراه با افزایش ارتفاع و افزایش خشکی نشان داد. بنابراین، نتایج مطالعه حاضر با نتایج تحقیق Lykholat و همکاران (2016) و Mhamdi و همکاران (2010) همسو است. نتایج نشان داد که دخالت آنزیم کاتالاز در فرایندهای آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های راش با افزایش ارتفاع افزایش یافته است. نتایج این تحقیق با نتایج Queval's و همکاران (2007) مطابقت دارد. افزایش قابل توجه میزان کاتالاز در برگ‌ها می‌تواند کلروپلاست را تحت شرایط تنش‌هایی که تولیدکننده اصلی گونه‌های اکسیژن فعال هستند محافظت کند (Foyer & Shigeoka, 2011). همچنین براساس داده‌های به‌دست‌آمده میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ‌های نیمه شمالی تاج درختان بیشتر از برگ‌های نیمه جنوبی مشاهده شد. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در نیمه شمالی تاج درختان همراه با افزایش ارتفاع کاسته شد و در نیمه جنوبی تا ارتفاع میانی روند افزایشی داشته و سپس همراه با افزایش ارتفاع از میزان فعالیت آنزیم کاسته شد و اختلاف معنی‌داری در فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در میان جمعیت و درون جمعیت مشاهده نشد. نتایج این تحقیق با نتایج Zhua و همکاران (2010) همسو است. Zhua و همکاران (2010) با مطالعه سازگاری اکوفیزیولوژی *Calligonum roborovskii* در پاسخ به تغییرات میزان آب و خاک در طول گرادیان ارتفاعی بیان کردند که با افزایش ارتفاع فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در ارتفاع اول بیشتر از ارتفاع دوم و سوم بود و چنین بیان کردند که تحت تنش خشکی ابتدا آنزیم سوپراکسیددیسموتاز فعال می‌شود و اتم پراکسیداز را به اکسیژن مولکولی و

شوری و تنش فلز سنگین دارد (Aslam et al., 2011). Lykholat و همکاران (2016)، در مطالعه روی برگ‌های زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.) و بلوط (*Quercus robur* L.) تغییر در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را در طول ارتفاعات مختلف نشان دادند و عنوان کردند که تغییر در فعالیت های متابولیکی بر اثر تغییر در فعالیت‌های فتوسنتزی ظاهر می‌شود. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده متابولیسم قابل توجه برگ‌های بلوط و زبان گنجشک برای مقابله با افزایش خشکی در طول شیب ارتفاعی است. احتمالاً تغییرات ممکن است متأثر از تجمع فنول‌ها و قندها باشد، نظر به اینکه که Allison و Schultz (2004) بر روی پراکسیدازها تأکید می‌کنند نقش مهمی در این مسیرهای متابولیکی بازی می‌کند. در همین رابطه Khaksar و همکاران (2015) با بررسی گونه افراپلت (*Acer velutinum* Boiss.) نشان دادند که فعالیت پراکسیداز با افزایش ارتفاع افزایش یافته و بر این اساس، سه رویشگاه تحت بررسی از لحاظ فعالیت کمی آنزیم تا حد زیادی قابل تفکیک از یکدیگر بودند و تفاوت در میزان فعالیت کمی پراکسیداز در درون هر رویشگاه را ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بیان کردند و عنوان کردند که کاهش دما در ارتفاعات بالاتر باعث افزایش فعالیت کمی و کیفی آنزیم پراکسیداز برای تولید لیگنین شده است. Parhizkar و همکاران (2009) در بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز در گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus viminalis* Labill) نشان داد که تغییرات فعالیت پراکسیداز در پایه‌های مختلف متفاوت بوده است. نتایج به‌طور کلی نقش پراکسیداز را در اعمال متابولسمی و تغییرات فیزیولوژیکی *E. viminalis* نشان داد و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز طی فصل‌های سرد سال را دلیلی بر نقش این آنزیم در مقابله با آسیب‌های ناشی از سرما (Parhizkar et al., 2009) و دلیلی برای جبران میزان کل فعالیت آنزیمها در دمای پایین اظهار کردند (Han et al., 2004). به عبارت دیگر پایه‌های واقع در ارتفاعات بالاتر برای مقابله با تنش‌های محیطی از جمله سرمای دیررس بهار، سرمای زودرس پاییزه تغییراتی در خود ایجاد کرده و با فعال‌سازی آنزیم پراکسیداز سازگاری بیشتری با شرایط اقلیمی پیدا می‌کنند. Halliwell و همکاران (2006) بیان می‌دارد که عملکرد آنزیم پراکسیداز جوامع گیاهی با حذف پراکسید اکسیژن بیش از حد طی فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی صورت می‌گیرد.



را می‌توان برای شناسایی پایه‌های مقاوم نسبت به تنش‌های محیطی استفاده کرد. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای ارزیابی انطباقی گونه‌های چوبی نسبت به تغییرات آب و هوایی مفید واقع شود.

### سپاسگزاری

نگارندگان از مسئولین آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان بخاطر فراهم کردن امکانات و همکاری در انجام این تحقیق قدردانی می‌کنند.

### REFERENCE

- Allison, S.D. and Schultz, J.C. 2004. Differential activity of peroxidase isozymes in response to wounding, gypsy moth, and plant hormones in Northern red oak (*Quercus rubra* L.). – Chem. Ecol. 30: 1363-1379.
- Agarwal, S. and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. – Biol. Plant 48: 555-560.
- Araujo, W.L., Dias, P.C. and Moraes, G.A. 2008. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. – Plant. Physio. Bio. 46: 884-890.
- Aslam, R., Bostan, N., Nabgha-e-Amen, M.M. and Safdar, W. 2011. A critical review on halophytes: salt tolerant plants. – Med. Plants. Res. 5: 7108-7118.
- Babaei, F., Jalali, S.A. and Azadfar, D. 2012. Investigation of genetic variation in *Zelkova carpinifolia* by use of leaf peroxidase isozyme in three lowland habitats in north of Iran. – Wood. Forest. Sci. Tech. 19: 121-133.
- Babaei, F., Jalali, S.G., Sohrabi, H. and Shirvany, A. 2016. Physiological responses of seedlings of different *Quercus castaneifolia* C.A. Mey. Provenances to heterogeneous light environments. – Forest Sci. 62: 485-491.
- Bayramzadeh, V. 2011. Stomatal characteristics of *Fagus orientalis* Lipsky. in geographically separated locations in the Caspian Forests of Northern Iran. – Environ. Sci. 5: 836-840.
- Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. – Anal. Biochem. 44: 276-87.
- Canche, B. and Maehly, A.C. 1955. Assay of catalase and peroxidases. – Methods Enzymol. 2: 764-775.
- Carpenter, S.B. and Smith, N.D. 1981. A comparative studies of leaf thickness among Southern Appalachian hardwoods. – Botany 59: 1393-1396.
- Cadenas, E. 1989. Biochemistry of Oxygen Toxicity. – Annu. Rev. Biochem. 58: 79-110.
- Cesar, A.R., Antunes, M.T. and Vidal, P.G. 2010. Método do estudo de caso em pesquisas da área de contabilidade: uma comparação do seu rigor metodológico em publicações nacionais e internacionais. – Revista de Informação Contábil. 4: 42-64.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> تبدیل می‌کند و سپس آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> را از بین می‌برند و کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در ارتفاع اول و دوم ممکن است به دلیل انباشت H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و یا به دلیل روشنایی باشد. افزایش ارتفاع و تغییر در شرایط محیطی باعث افزایش استرس اکسیداتیو در ارتفاعات بالاتر و تجمع گونه‌های اکسیژن فعال و رادیکال‌های آزاد در داخل بافت‌های گیاهی می‌شود. تحت این شرایط، گیاه سیستم دفاعی خود را به منظور بالابردن مقاومت در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهد. بنابراین، پراکسیداز و کاتالاز برگ دارای فعالیت فیزیولوژیک بیشتری نسبت به افزایش ترکیبات اکسیژن فعال با افزایش ارتفاع، به خصوص ارتفاع بالاتر از ۱۲۰۰ متر بود. مقادیر میانگین پلاستیسیته فیزیولوژیکی در آنزیم‌های تحت بررسی نشان داد که آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بالاترین میزان تغییرات را در نیمه شمالی دارا بودند (به ترتیب، ۰/۸۰۴، ۰/۷۷۳ و ۰/۶۱۶). موقعیت قرارگیری برگ‌ها روی تاج درختان و همچنین تفاوت در میزان نور دریافتی نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان می‌تواند از عوامل تغییر در عمل‌کرد آنزیم‌ها باشند. همچنین فعالیت بیشتر آنزیم‌ها در نیمه شمالی نشان می‌دهد که سایه به‌طور مثبتی بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تغییرات محیطی (آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی) تأثیر می‌گذارد. مطالعات زیادی به قابلیت سازش‌پذیری فیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی به شرایط مختلف نوری پرداخته‌اند (Han et al., 2004; Matos et al., 2009; Araujo et al., 2008). علاوه بر شرایط نوری، عوامل دیگری مانند دما و استرس آبی نیز می‌تواند بر روی عمل‌کرد برگ تأثیرگذار باشد (Carpenter & Smith, 1981). در مجموع، تفاوت در میزان پلاستیسیته فیزیولوژیکی در نیمه شمالی و جنوبی تاج درختان نتیجه تغییر در ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی همراه با تغییرات ارتفاعی است. در این مطالعه تغییرات عمل‌کرد برگ درختان راش شرقی در امتداد گرادیان ارتفاعی تحت بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه حاضر حساسیت برگ درختان راش را نسبت به تفاوت‌های محیطی در مقیاس کوچک همراه با افزایش ارتفاع نشان می‌دهد. علاوه بر این، سازوکارهای بیوشیمیایی که شامل اجزای دفاعی آنتی‌اکسیدانی هستند نقش مؤثری در تطبیق پاسخ گیاهان نسبت به تنش‌های اکسیداتیو در ارتفاعات بالا دارند. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه

- Espahbodi, K.** 2005. Genetic variation and effects of genotype and environment on the establishment and growth mountain ash (*Sorbus torminalis*). – Ph.D Thesis, Tarbiate Modarres University. pp 74.
- Foyer, C.H. and Shigeoka, S.** 2011. Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. – *Plant Physiol.* 155: 93-100.
- Germino, M.J. and Smith, W.K.** 2000. High resistance to low temperature photoinhibition in two alpine, snowbank species. – *Physiol. Plantarum* 110: 89-95.
- Gill, S.S. and Tuteja, N.** 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. – *Plant. Physio. Bio.* 48: 909-930.
- Halliwell, B.** 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme in aerobic life. – *Plant Physiol.* 141: 312-322.
- Han, Q., Katahata, S., Kakubari, Y. and Mukai, Y.** 2004. Seasonal changes in the xanthophyll cycle and antioxidants in sun-exposed and shaded parts of the crown of *Cryptomeria japonica* in relation to rhodoxanthin accumulation during cold acclimation. – *Tree Physiol.* 24: 609-616.
- Hatziskakis, S., Tsiripidis, I. and Papageogioui, A.C.** 2011. Leaf morphological variation in beech (*Fagus sylvatica* L.) populations in Greece and its relation to their post-glacial origin. – *Linnaean Society* 165: 422-436.
- Khaksar, R., Aldaghi, M., Salimi, A. and Espahbodi, K.** 2015. Investigation on qualitative and quantitative changes of peroxidase isozyme in maple (*Acer velutinum*) at different altitudes of Mazandaran forests. – *Range. Forest. Plant. Breed Gen. Res.* 23: 203-214.
- Karner, C., Farquhar, G.D. and Roksandic, Z.** 1988. A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude. – *Oecologia* 74: 623-632.
- Keles, Y. and Everest, A.** 2008. Relation to altitude adaptation and antioxidant defense system in five shrubs and trees species from middle Taurus Mountains. – *Natural. Eng. Sci* 2: 45-49.
- Lykholat, Y., Khromyk, N., Ivanko, I., Kovalenko, I., Shupranova, L. and Kharytonov, V.M.** 2016. Metabolic responses of steppe forest trees to Altitude Associated local environmental changes. – *Agri. For.* 62: 163-171.
- Mhamdi, A., Queval, G., Chaouch, S., Vanderauwera, S., Van Breusegem, F. and Noctor, G.** 2010. Catalase function in plants: a focus on *Arabidopsis mutants* as stress-mimic model. – *Environ. Experi. Bot.* 61: 4197-4220.
- Matos, F. S., Wolfgramm, R., Goncalves, F.V., Cavatte, P.C., Ventrella, M.C. and DaMatta, F.M.** 2009. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. – *Environ. Exper. Bot.* 67: 421-427.
- Nakano, Y. and Asada, K.** 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. – *Plant. Cell. Physiol.* 22: 867-880.
- Öncel, L., Yurdakulol, E., Keleş, Y., Kurt, L. and Yıldız, A.** 2004. Role of antioxidant defense system and biochemical adaptation on stress tolerance of high mountain and steppe plants. – *Acta Oecologica* 26: 211-218.
- Parhizkar, P., Korori, S.A., Moraghebi, F., Teimouri, M., Torabian, Y. and Manouchehri, N.** 2009. Seasonal alteration of peroxidase in branch and leaves of *Eucalyptus viminalis* Labill. – *For. Pop. Res.* 16: 368-377.
- Polle, A.** 1996. Mehler Reaction: Friend or Foe in Photosynthesis? – *Bot. Acta.* 109: 84-89.
- Queval, G., Issakidis-Bourguet, E., Hoeberichts, F.A., Vandenborgh, M., Gakiere, B., Vanacker, H., Miginiac-Maslow, M., Van Breusegem, F. and Noctor, G.** 2007. Conditional oxidative stress responses in the Arabidopsis photorespiratory mutant cat2 demonstrate that redox state is a key modulator of daylength-dependent gene expression, and define photoperiod as a crucial factor in the regulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced cell death. – *Plant J.* 52: 640-657.
- Qipeng, H., Guo, ZH. and Li, CY.** 2008. Advance at phenotypic plasticity in plant responses to abiotic factors. – *Sci. Silvae. Sinicae* 44: 136-142.
- Raeisi, S., Jalali, S.G. and Espahbodi, K.** 2011. An investigation of genetic variation of (*Quercus castaneafolia* C.A.Meyer) in Neka and Noor forest of Mazandaran using peroxidase activities. – *Tax. and Bio.* 2: 11-22.
- Rundel, P.W., Gibson, C.A., Sharifi, M.R. and Esler, K.J.** 1998. Morphological and physiological components of adaptations to light environments in neotropical *Heliconia* (Heliconiaceae). – *J. Trop. Ecol.* 14: 789-801.
- Sagisaka, S.** 1985. Injuries of cold acclimatized polar twigs resulting from enzyme inactivation and substrate during frozen and ambient for a long period. – *Plant Cell Physiol.* 28: 1135-1145.
- Saho, A.C. and Mishra, D.** 1987. Changes in some enzyme activities during excised rice leaf senescence under NaCl-stress. – *Bio. Physio.* 182: 501-505.
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. and Masia, A.** 2005. Antioxidant defenses in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. – *Func. Plant. Bio.* 32: 45-53.
- Streb, P., Shang, W., Feierabend, J. and Bligny, R.** 1998. Divergent strategies of photo protection in high-mountain plants. – *Planta* 207: 313-324.
- Zhua, J.T., Lia, X.Y., Zhanga, X.M., Zenga, F.J., Lina, L.S., Yanga, S.G. Guiaand, D.W. and Wang, H.** 2010. Ecophysiological adaptation of *Calligonum roborovskii* to decreasing soil water content along an altitudinal gradient in the Kunlun Mountains, Central Asia. – *Plant Physiol.* 57: 826-832.
- Wildi, B. and Lütz, C.** 1996. Antioxidant composition of selected high alpine plant species from different altitudes *Plant. – Cell. Environ.* 19: 138-146.
- Yamasaki, H., Sakihama, Y. and Ikehara, N.** 1997. Flavonoid-peroxidase reaction as a detoxification mechanism of plant cells against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. – *Plant. Physiol.* 115: 1405-1412.
- Zolfaghari, R., Hosseini, S.M. and Korori, S.A.** 2010. Relationship between peroxidase and catalase with metabolism and environmental factors in Beech

(*Fagus orientalis* Lipsky in three different elevations.  
– Environ. Sci. 1: 243-252.

\*\*\*\*\*

**How to cite this article:**

**Mohebi Bijarpasi, M., Rostami Shahraji. T. and Samizadeh Lahiji, H.A.** 2018. Study of antioxidant enzymes activity of *Fagus orientalis* Lipsky to environmental changes along altitude gradient (case study: Guilan forests, Masal). – Nova Biologica Rep. 2018: 95-105.

محبی بیجارپسی، م.، رستمی شاهراجی، ت. و سمیع زاده لاهیجی، ح.ا. ۱۳۹۷. بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان راش شرقی نسبت به تغییرات محیطی در طول گرادیان ارتفاعی (مطالعه‌ی موردی: جنگل‌های گیلان، ماسال). – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۱۳۹۷: ۹۵-۱۰۵.