

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

معصومه ایزدی<sup>۱</sup>، هاشم حبشی<sup>۲\*</sup>، معصومه شایان‌مهر<sup>۳</sup>، رامین رحمانی<sup>۴</sup> و فاطمه رفیعی<sup>۵</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (m.izadi460@yahoo.com)
- ۲- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (habashi@gau.ac.ir)
- ۳- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (shayanm30@yahoo.com)
- ۴- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (dr\_ramin99@yahoo.com)
- ۵- دکتری بیولوژی خاک جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (rafiee.f@gmail.com)

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

### چکیده

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

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

## مقدمه

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

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

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

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

#### طراحی آزمایش

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

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

#### مواد و روش‌ها

##### مشخصات منطقه مورد بررسی

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



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

Figure 1. Modified chambers for increasing temperature and throughfall exclusion

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

### نتایج

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

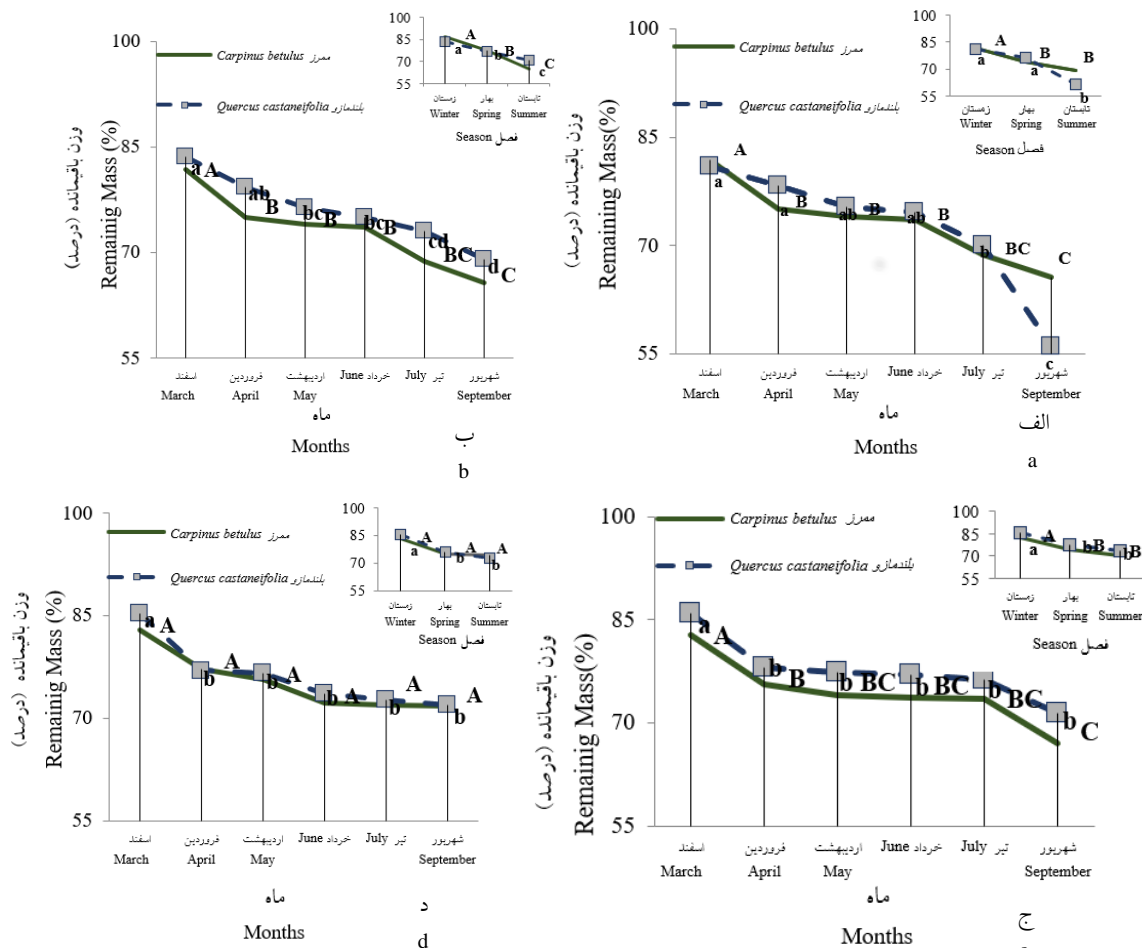
تیمارها همبستگی خطی مثبت معنی‌دار و با محتوای رطوبت خاک همبستگی منفی معنی‌دار وجود داشت، در حالی‌که در تیمار شاهد همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. در گونه بلندمازو ازدست دادن ماده آلی لاشبرگ با دمای خاک، درصد رطوبت هوای چمبر همبستگی مثبت معنی‌دار و با محتوای رطوبت خاک همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

## بحث

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

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

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



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

## References

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

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

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

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

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

M. Izadi<sup>1</sup>, H. Habashi<sup>\*2</sup>, M. Shayanmehr<sup>3</sup>, R. Rahmani<sup>4</sup> and F. Rafiee<sup>5</sup>

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

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

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

4- Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (dr\_amin99@yahoo.com)

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

Received: 09.06.2021      Accepted: 25.10.2021

### Abstract

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

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

---

\* Corresponding author

Tel: +989113701070