

ارزیابی رویکرد فضا برای زمان برای بررسی اثرهای افزایش درجه حرارت بر تجزیه لاشبرگ‌ها

ساناز رهمزانی^۱ و فرهاد قاسمی آقباش^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (sanaz.ramezani73@gmail.com)

۲- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (ghasemifarhad@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸

چکیده

مقدمه و هدف: در بوم‌سازگان‌های جنگلی، تجزیه لاشبرگ از مهم‌ترین راه‌های ورود عناصر غذایی به خاک است و قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی خاک به مقدار زیاد ناشی از پویایی عناصر غذایی و تجزیه لاشبرگ در جنگل است. تجزیه لاشبرگ کارکردهای بوم‌شناسی مهمی را موجب می‌شود و ترکیب عناصر غذایی درونی درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرایند تجزیه لاشبرگ بر ذخایر کربن آلی خاک اثر می‌گذارد. درک و فهم این مسئله که چگونه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی کره زمین فرایند تجزیه و در نتیجه مقدار کربن ذخیره شده در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لازم و ضروری است. رویکرد فضا برای زمان این امکان را فراهم می‌سازد که تجزیه لاشبرگ در شرایط حاضر و در طبقات ارتفاعی مختلف مورد مقایسه قرار گرفته و اثرهای افزایش درجه حرارت بر تجزیه لاشبرگ‌ها بررسی شود. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرهای افزایش یا کاهش درجه حرارت بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در لاشبرگ‌های خالص و ترکیبی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در تحقیق حاضر با استفاده از رویکرد فضا برای زمان، نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در سه گونه بلوط ایرانی، بنه و داغداغان در حالت‌های خالص و ترکیبی، در سه طبقه ارتفاعی ۷۵۰، ۹۰۰ و ۱۰۵۰ متر در جنگل‌های دره‌شهر استان ایلام بررسی شد. جنگل‌های منطقه دارای توپوگرافی نسبتاً شدید و دارای کوه‌ها و تپه‌هایی با شیب‌های تند و ملایم است و در بسیاری از قسمت‌های آن بیرون‌زدگی‌های سنگی وجود دارد. ارتفاع متوسط منطقه ۱۲۰۰ متر و شیب متوسط آن ۱۵ درصد است. متوسط دمای سالیانه ۲۱/۴۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه، ۴۲۶/۳ میلی‌متر گزارش شده است. نوع اقلیم منطقه موردبررسی نیمه‌مرطوب است. در این پژوهش از تکنیک کیسه‌لاشبرگ (با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر با منافذ ۲ میلی‌متر) استفاده شد. برای دستیابی به اهداف تحقیق، لاشبرگ گونه‌های موردبررسی در فصل پاییز سال

۱۴۰۰ به صورت تصادفی و دستی از کف جنگل جمع‌آوری شد. بعد از آماده‌سازی کیسه‌لاشبرگ‌ها، تعداد ۲۴۳ کیسه‌لاشبرگ تک جیبه و دو جیبه در محل‌های جمع‌آوری لاشبرگ‌ها در روی خاک معدنی نصب و طی ۱۸۰ روز با فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز مورد انکوباسیون قرار گرفته و نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها وزن اولیه و ثانویه لاشبرگ‌ها یادداشت و از طریق روابط وزنی مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها محاسبه شد. برای تعیین کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها نیز عناصر غذایی لاشبرگ‌ها مانند نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج مشخص شد که لاشبرگ‌های سه گونه موردبررسی از نظر غلظت‌های منیزیم، فسفر و نیتروژن مشابه هستند. لاشبرگ بلوط ایرانی از نظر غلظت‌های پتاسیم و کربن و لاشبرگ داغداغان نیز از نظر غلظت کلسیم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده بودند. نسبت کیفی C:N در لاشبرگ داغداغان پایین بود که این مسئله نشان‌دهنده کیفیت بالای این لاشبرگ است. نتایج نشان داد که در دوره‌های زمانی موردبررسی نوع لاشبرگ، ارتفاع از سطح دریا (به‌غیر از دوره زمانی ۱۸۰ روز) و اثرهای متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع اثرهای معنی‌داری در نرخ تجزیه داشته‌اند؛ به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع از سطح دریا مقدار تجزیه افزایش یافته است. بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که در دوره زمانی ۳۰ روز بیشترین مقدار تجزیه مربوط به تیمارهای ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) و بلوط ایرانی (بلوط ایرانی+داغداغان) (به‌ترتیب ۱۴/۶۱ و ۱۴/۴۰ درصد) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر و کمترین آن مربوط به تیمار بنه خالص (۴/۵۲ درصد) در ارتفاع ۷۵۰ متر بوده است. در دوره زمانی ۶۰ روز نیز بیشترین مقدار تجزیه در تیمار ترکیبی داغداغان (بنه+داغداغان) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر و کمترین آن در تیمار بنه خالص در ارتفاع ۷۵۰ متر به‌ترتیب با ۱۵/۴۱ و ۵/۳۱ درصد مشاهده شد. همچنین در پایان دوره انکوباسیون بیشترین مقدار تجزیه متعلق به تیمار ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر (۱۶/۱۲ درصد) و کمترین آن نیز مربوط به لاشبرگ خالص بنه در ارتفاع ۷۵۰ متر (۱۰/۱۲ درصد) است.

نتیجه‌گیری کلی: در کل بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که در طول مدت زمان بررسی، با افزایش ارتفاع از سطح دریا و در نتیجه کاهش درجه حرارت نرخ از دست‌دهی مواد آلی لاشبرگ‌ها نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش معنی‌داری (مخصوصاً در دو ماه اول انکوباسیون) نسبت به طبقات ارتفاعی پایین داشته است. همچنین در پایان دوره زمان مورد بررسی تنها اثر متقابل ارتفاع و نوع لاشبرگ توانسته بود مقدار تجزیه لاشبرگ‌ها را تحت تأثیر قرار بدهد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های زاگرس، درجه حرارت، کیسه‌لاشبرگ، گرادیان ارتفاعی، وزن ازدست رفته.

مقدمه

قرار دادن فعالیت‌های خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه‌کننده-ها، نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها را تنظیم می‌کنند (Patoine et al., 2017; Faber et al., 2018). بیشتر بررسی‌های انجام شده در خصوص اثرهای گرادپان‌های ارتفاعی بر نرخ تجزیه لاشبرگ نشان‌دهنده اثرهای منفی افزایش ارتفاع بر نرخ تجزیه بوده‌اند (Dinakaran et al., 2018). پژوهش‌های انجام شده در خصوص کیفیت لاشبرگ و نرخ تجزیه آن در طبقات ارتفاعی مختلف کم بوده (Bohara et al., 2019) و بیشتر پژوهش‌ها در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شده‌اند (Hättenschwiler and Bretscher, 2001; Rouifed et al., 2010). با این حال از پژوهش‌هایی که در شرایط طبیعی انجام شده‌اند؛ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Gavazov et al. (2014) با بررسی روی راش اروپایی در سوئیس گزارش دادند که شواهد قابل قبولی در خصوص نقش‌های کنترلی درجه حرارت و رطوبت خاک در تجزیه لاشبرگ‌ها وجود دارد. همچنین در مورد اثرهای غیرمستقیم اقلیم و خاک، به واسطه تغییر جوامع میکروبی خاک، نیز چنین شواهدی وجود دارد. ایشان همچنین گزارش دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها به دلیل کاهش رطوبت خاک کاهش می‌یابد. (Paudel et al., 2015) با بررسی عوامل تاثیرگذار بر تجزیه لاشبرگ‌ها در گرادپان‌های مختلف آشفته‌گی در جنگل‌های تروپیکال گزارش دادند که تغییر میکروکلیم، به واسطه حذف تاج‌پوشش، موجب حذف بی‌مهرگان متوسط و بزرگ شده درحالی که اثر کیفیت لاشبرگ در چنین شرایطی کم‌رنگ شده بود. Berger et al. (2015) با بررسی نرخ تجزیه لاشبرگ‌های راش اروپایی و کاج سیاه در گرادپان‌های ارتفاعی مختلف گزارش دادند که با افزایش ارتفاع مقدار درجه حرارت و بارندگی کاهش یافته که این امر منجر به کاهش نرخ تجزیه لاشبرگ و در نتیجه کاهش ذخایر کربن خاک

بخش مهمی از چرخه عناصر غذایی در بوم‌سازگان‌های جنگلی به وسیله آزاد شدن مواد غذایی از لاشبرگ درختی در حال تجزیه تشکیل می‌شود (Bohara et al., 2020). فعل و انفعالات موجود بین ورودی مواد آلی و نرخ تجزیه آن یکی از مهم‌ترین فرایندهای تعیین‌کننده مقدار کربن آلی ذخیره‌شده در خاک است (Moslehi et al., 2018). در جنگل‌های معتدله لاشبریزه‌ها در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد ذخایر کربن خاک را تامین می‌کنند (Faber et al., 2018). لاشبرگ‌ها کارکردهای بوم-شناسی مهمی را فراهم می‌نمایند و بر ترکیب عناصر غذایی درونی درختان اثر می‌گذارند (Berg and McClaugherty, 2020). ارتباطات متقابل بین اقلیم، فعالیت خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه‌کننده‌ها و کیفیت لاشبرگ تنظیم‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ است (Cotrufo et al., 2013). آزادسازی عناصر غذایی و ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ها نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی ایفا می‌نماید و بازگشت عناصر غذایی به فرایند تجزیه بستگی دارد که در مقیاس جهانی به اقلیم و عرض جغرافیایی و در مقیاس منطقه‌ای به مشخصه‌های بوم‌شناختی و عوامل فیزیوگرافی وابسته است (Kara et al., 2014). کیفیت لاشبرگ، عموماً با عواملی مانند مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، لیگنین، سلولز و همی‌سلولز، نسبت کیفی کربن به نیتروژن و ترکیبات فنلی لاشبرگ‌ها بیان می‌شود (Zhang et al., 2008; Krishna and Mohan, 2017). در بوم‌سازگان‌های جنگلی، هر گونه درختی کیفیت لاشبرگ مخصوص به خود را داراست (Kianmehr et al., 2019) و لاشبرگ هم به نوبه خود بر شیمی و میکروبیولوژی خاک اثر می‌گذارد (Berger et al., 2015). خاک و اقلیم به‌طور غیرمستقیم، با تحت تاثیر

بیشتری دارند؛ زیرا برای تجزیه آنها مراحل زیادی نیاز خواهد بود (Faber et al., 2018). همان‌گونه که قبلاً بیان شد بیشتر پژوهش‌ها در خصوص بررسی اثرهای شرایط محیط‌زیستی بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در شرایط آزمایشگاهی انجام شده‌اند. از این‌رو، این پژوهش در نظر دارد که با استفاده از رویکرد فضا برای زمان (Space-For-Time approach) اثرهای افزایش یا کاهش درجه حرارت بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها را در شرایط طبیعی بررسی کند. در این رویکرد در زمان کنونی می‌توان با افزایش یا کاهش ارتفاع از سطح دریا اثرهای کاهش یا افزایش درجه حرارت بر نرخ تجزیه لاشبرگ را ارزیابی کرد. به عبارتی اثرهای پدیده گرمایش کره‌زمین در فرایند تجزیه لاشبرگ و پویایی عناصر غذایی آن را می‌توان پیش‌بینی کرد. اطلاعات کمی در مورد ترکیب شیمیایی، تجزیه لاشبرگ و اثرهای آب و هوا بر فرایندهای تجزیه لاشبرگ برای گونه‌های درختی مختلف در امتداد شیب ارتفاعی، به‌ویژه برای جنگل‌های بلوط غرب که در برابر تأثیرات تغییرات جهانی آسیب‌پذیر هستند، وجود دارد. بنابراین پژوهش حاضر سعی دارد اثرهای افزایش یا کاهش درجه حرارت بر فرایند تجزیه لاشبرگ را در گرادیان‌های ارتفاعی مختلف در جنگل‌های دره‌شهر استان ایلام بررسی نماید.

مواد و روش‌ها

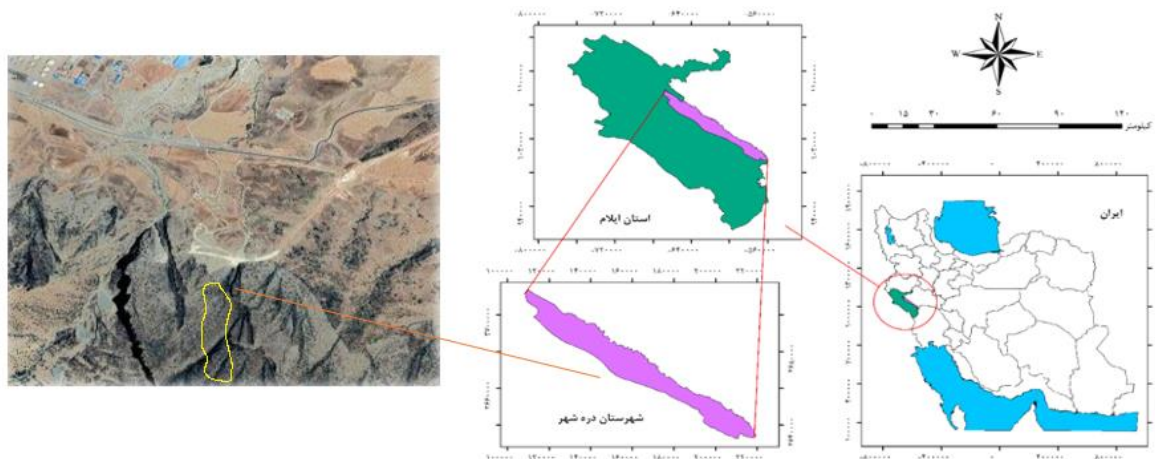
منطقه موردبررسی

برای دستیابی به اهداف پژوهش جنگل‌های واقع در فاصله ۱۶ کیلومتری بخش مرکزی شهرستان دره شهر استان ایلام انتخاب شد. این جنگل‌ها بین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 32' 47''$ تا $47^{\circ} 29' 44''$ و عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ} 21' 49''$ تا $28^{\circ} 21' 33''$ قرار گرفته‌اند. منطقه موردبررسی دارای توپوگرافی به‌نسبت شدید بوده

می‌شود. (Faber et al. (2018) اثرهای افزایش ارتفاع از سطح دریا بر تجزیه لاشبرگ را در شرایط طبیعی بررسی کرده و گزارش دادند که حساسیت تجزیه لاشبرگ‌های با کیفیت پایین در مقایسه با کیفیت بالا نسبت به گرم شدن هوا بیشتر بوده و کمتر تحت‌تأثیر جوامع میکروبی خاک قرار می‌گیرند. (Bohara et al. (2020) تجزیه لاشبرگ و مقدار آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ را در گرادیان‌های مختلف ارتفاعی در جنگل‌های معتدله بررسی کرده و گزارش دادند که کیفیت لاشبرگ به‌همراه عوامل اقلیمی (مانند درجه حرارت و بارندگی) بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های نرخ تجزیه لاشبرگ و پویایی عناصر غذایی آن هستند. (Izadi et al. (2022) با شبیه‌سازی اثر افزایش دما و کاهش تاج‌بارش بر نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های ممرز و بلندمازو گزارش دادند که نرخ تجزیه لاشبرگ گونه بلندمازو در شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت که این مسئله منجر به کوتاه‌تر شدن دوره برداشت خواهد شد. در کل نتایج پژوهش‌های این-چنینی می‌تواند برای حفظ تنوع زیستی و ثبات بوم-سازگان و برای کاهش اثرهای تغییرات آب و هوایی ضروری باشد. جنگل‌های موجود در ارتفاعات بالا معمولاً دارای درختانی هستند که لاشبرگ با کیفیت پایین تولید می‌کنند. این درختان لاشبرگ‌هایی تولید می‌کنند که از نظر عناصر غذایی ضعیف بوده ولی حاوی مقدار بالای لیگنین هستند (Vesterdal et al., 2008). به‌علاوه در جنگل‌های کوهستانی نرخ تجزیه پایین بوده و تجمع و تثبیت کربن در افق‌های سطحی انجام می‌گیرد. اما شرایط در جنگل‌های معتدله متفاوت است؛ به‌طوری‌که از ذخایر بالای کربن برخوردار هستند (Zhu et al., 2015). افزایش درجه حرارت کره زمین و اثرهای آن در نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها بستگی به کیفیت لاشبرگ‌ها دارد. معمولاً لاشبرگ‌هایی که از کیفیت پایین برخوردار هستند در برابر درجه حرارت حساسیت

بارندگی سالیانه ۴۲۶/۳ میلی متر و نوع اقلیم منطقه نیمه-مرطوب است. گونه‌های درختی غالب این جنگل‌ها شامل بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، داغداغان (*Celtis australis* L.) و بنه (*Pistacia atlantica* Desf) است. موقعیت منطقه موردبررسی در استان و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

و در بسیاری از قسمت‌های آن بیرون زدگی‌های سنگی وجود دارد. عمق خاک در بسیاری از قسمت‌ها، به دلیل صخره‌ای بودن، کم بوده (۷-۱۵ سانتی متر) و نوع بافت خاک رسی است. کمینه ارتفاع منطقه ۷۵۰ متر و شیب متوسط آن ۱۵ درصد است. بر اساس اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی شهرستان دره شهر متوسط دمای سالیانه منطقه ۲۱/۴۰ درجه سانتی گراد، میانگین



شکل ۱- موقعیت منطقه موردبررسی در استان و کشور

Figure 1. Location of the investigated area in the province and country

لاشبرگ‌ها از روش کیسه‌لاشبرگ استفاده شد. لاشبرگ‌های جمع‌آوری شده در داخل کیسه‌لاشبرگ به ابعاد ۲۰×۲۰ و منافذ ۲ میلی متر قرار داده شدند (Berg and McClaugherty, 2020). طول دوره آزمایش ۱۸۰ روز بوده و سه دوره زمانی (۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز) برای برداشت کیسه‌لاشبرگ‌ها انتخاب شد. با توجه به تعداد تکرارهای آزمایش (سه تکرار)، حالت‌های مختلف قرارگیری لاشبرگ‌ها در کیسه‌لاشبرگ‌ها (بلوط خالص، داغداغان خالص و بنه خالص در کیسه‌لاشبرگ‌های تک جیب، بلوط+داغداغان، بلوط+بنه، داغداغان+بلوط، داغداغان+بنه، بنه+بلوط و بنه+داغداغان در کیسه-لاشبرگ‌های دو جیب) ۲۴۳ کیسه‌لاشبرگ تک جیب (۳ تکرار×۳ دوره زمانی×۳ تیمار خالص×۳ طبقه ارتفاعی = ۸۱ کیسه‌لاشبرگ تک جیب) و دو جیب (۳

روش تحقیق

بر اساس بازدیدهای میدانی سه طبقه ارتفاعی ۷۵۰، ۹۰۰ و ۱۰۵۰ متر انتخاب شد. در هر طبقه ارتفاعی قبل از خزان برگ‌ها مناطقی برای جمع‌آوری لاشبرگ‌های تازه پاکسازی شدند. در اواسط آبان ماه ۱۴۰۰ حدود پنج کیلوگرم لاشبرگ به تفکیک گونه‌های درختی (بلوط ایرانی، داغداغان و بنه) و طبقات ارتفاعی جمع‌آوری و در کیسه‌های نایلونی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. لاشبرگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شدند. برای تعیین کیفیت و رطوبت اولیه لاشبرگ‌ها حدود ۱۰ گرم از لاشبرگ‌ها (به تفکیک گونه‌های درختی و تمامی طبقات) انتخاب شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در این پژوهش برای بررسی فرایند تجزیه

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{Mass loss (\%)} = [W_0 - W_t / W_0] \times 100$$

Mass loss: مقدار وزن ازدست رفته، W_0 : وزن

خشک اولیه، W_t : وزن خشک باقی مانده بعد از جمع-

آوری لاشبرگ

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-

اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) بررسی شد.

سپس همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Leven

موردتأیید قرار گرفت. مقایسه کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها

از طریق تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way

ANOVA) برای مقایسه‌های کلی و از طریق آزمون

دانکن برای مقایسه میانگین‌ها انجام گرفت. از آنالیز

واریانس دو طرفه (Two-way ANOVA) برای بررسی

اثرهای متقابل گونه و ارتفاع از سطح دریا در تجزیه

لاشبرگ‌ها استفاده شد. تمام آزمون‌های آماری با استفاده

از نرم‌افزار آماری SPSS Ver. 22 و در سطوح معنی-

داری یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج

کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها

نتایج حاصل از بررسی ترکیبات شیمیایی اولیه

لاشبرگ‌ها نشان داد که لاشبرگ‌های سه گونه

موردبررسی از نظر غلظت‌های منیزیم، فسفر و نیتروژن

مشابه هستند. لاشبرگ بلوط ایرانی از نظر غلظت‌های

پتاسیم و کربن و لاشبرگ داغداغان نیز از نظر غلظت

کلسیم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. از

نظر نسبت کیفی C:N بیشترین و کمترین مقدار به

ترتیب در لاشبرگ‌های بنه و داغداغان مشاهده شد که

نشان می‌دهد لاشبرگ داغداغان نسبت به دو لاشبرگ

دیگر از کیفیت به نسبت بالاتری برخوردار است (جدول

۱).

تکرار ۳× دوره زمانی ۶× تیمار ترکیبی ۳× طبقه

ارتفاعی = ۱۶۲ کیسه لاشبرگ دو جیبه آماده شد. کیسه-

لاشبرگ‌ها در اوایل آذر ماه ۱۴۰۰ در هر یک از طبقات

ارتفاعی موردبررسی، بعد از کنار زدن لاشبرگ‌ها در

روی خاک با استفاده از میخ‌های آهنی ۱۰ سانتی‌متری

نصب شدند. برداشت کیسه لاشبرگ‌ها در سه دوره

زمانی ۳۰ روز (دی ماه ۱۴۰۰)، ۶۰ روز (بهمن ماه

۱۴۰۰) و ۱۸۰ روز (خرداد ماه ۱۴۰۱) انجام گرفت. لازم

به توضیح است که دما و رطوبت خاک نیز در هر دوره

برداشت ثبت می‌شد. دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر

با استفاده از دماسنج دیجیتال و رطوبت نیز با استفاده از

برداشت نمونه‌های خاکی در همین عمق اندازه‌گیری

می‌شدند. لاشبرگ‌ها در هر دوره پس از انتقال به

آزمایشگاه، پاک شدند و در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد

به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در مرحله بعد

لاشبرگ‌ها با استفاده از آسیاب خرد شده و در نهایت

آنالیزهای شیمیایی در سه تکرار برای تعیین کیفیت اولیه

لاشبرگ‌ها با سنجش عناصر غذایی لاشبرگ‌ها نظیر

نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم انجام

گرفت. سنجش نیتروژن لاشبرگ‌ها با استفاده از روش

کجلدال و تعیین درصد کربن آلی نیز با استفاده از روش

احتراق انجام گرفت. برای سنجش عناصر پتاسیم، فسفر،

کلسیم و منیزیم عصاره گیاهی با استفاده از

اسیدکلریدریک تهیه شد. اندازه‌گیری پتاسیم با استفاده

از دستگاه فلیم فتومتر، سنجش فسفر با روش

اسپکتروفوتومتری و در طول موج ۴۳۰ نانومتر انجام

گرفت. اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم لاشبرگ‌ها نیز با

استفاده از روش طیف‌سنج اتمی و دستگاه طیف‌سنج

اتمی انجام شد. لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار

وزن (ماده آلی) ازدست رفته لاشبرگ‌ها از رابطه ۱

استفاده شد:

جدول ۱- ترکیب شیمیایی اولیه لاشبرگ گونه‌های موردبررسی (اشتباه معیار \pm میانگین) (میلی‌گرم بر گرم)

Table 1. The initially chemical composition of the leaf litters of the studied species (standard error \pm mean) (mg/g)

بنه <i>Pistacia atlantica</i>	داغداغان <i>Celtis australis</i>	بلوط ایرانی <i>Quercus brantii</i>	عناصر غذایی Nutrients
16.24 \pm 0.63 ^a	16.82 \pm 0.98 ^a	17.08 \pm 0.71 ^a	منیزیم Magnesium
29.93 \pm 1.54 ^b	26.82 \pm 0.83 ^a	32.09 \pm 1.23 ^a	پتاسیم Potassium
10.01 \pm 0.97 ^b	14.92 \pm 0.82 ^a	7.98 \pm 0.87 ^c	کلسیم Calcium
11.76 \pm 0.88 ^a	11.95 \pm 0.80 ^a	11.81 \pm 1.43 ^a	فسفر Phosphorus
11.15 \pm 0.88 ^a	11.82 \pm 0.28 ^a	12.71 \pm 0.76 ^a	نیتروژن Nitrogen
374.45 \pm 4.52 ^b	345.97 \pm 0.67 ^c	397.33 \pm 4.37 ^a	کربن Carbon
33.58 \pm 0.32 ^b	29.27 \pm 0.82 ^c	31.26 \pm 1.21 ^a	نسبت کربن به نیتروژن C:N ratio

اعداد در هر سطر با حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است.

Numbers in each row with different letters indicate significant differences.

میانگین دما و رطوبت خاک در طبقات ارتفاعی

در جدول ۲ میانگین دما و رطوبت خاک در سه طبقه ارتفاعی موردبررسی در دوره‌های زمانی ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روزه آورده شده است.

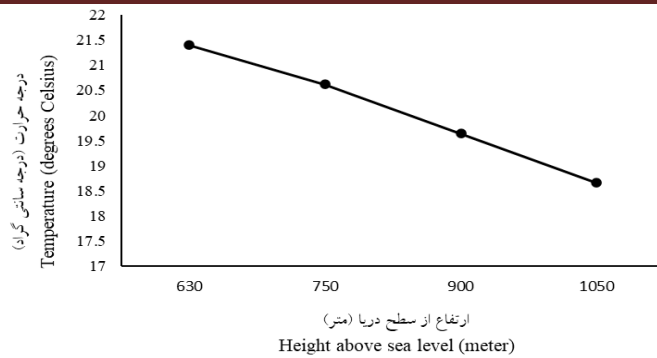
جدول ۲- میانگین دما و رطوبت خاک در تیمارهای موردبررسی

Table 2. The average temperature and moisture of the soil in the studied treatments

دوره زمانی Incubation time						طبقه ارتفاعی Height class (m)	
180		60		30			
دما (درجه) Temperature (°C)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	دما (درجه) Temperature (°C)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	دما (درجه) Temperature (°C)	رطوبت (درصد) Moisture (%)		
24.5	44	12.3	74	15.7	73		750
25.3	47.3	11.1	77	14.5	79		900
23.5	48.3	10.5	75	14.3	74		1050

دریای ایستگاه سینوپتیک شهرستان دره‌شهر (۶۳۰ متر) به‌طور تقریبی میانگین دما در هر یک از طبقات موردبررسی به‌دست آمد (شکل ۲).

میانگین دمای سالیانه طبقات ارتفاعی موردبررسی با فرض کاهش ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد به ازای افزایش هر ۱۰۰ متر در ارتفاع و با در نظر گرفتن ارتفاع از سطح



شکل ۲- میانگین درجه حرارت سالیانه در هریک از طبقات ارتفاعی

Figure 2. The average annual temperature in each of the altitudinal gradient

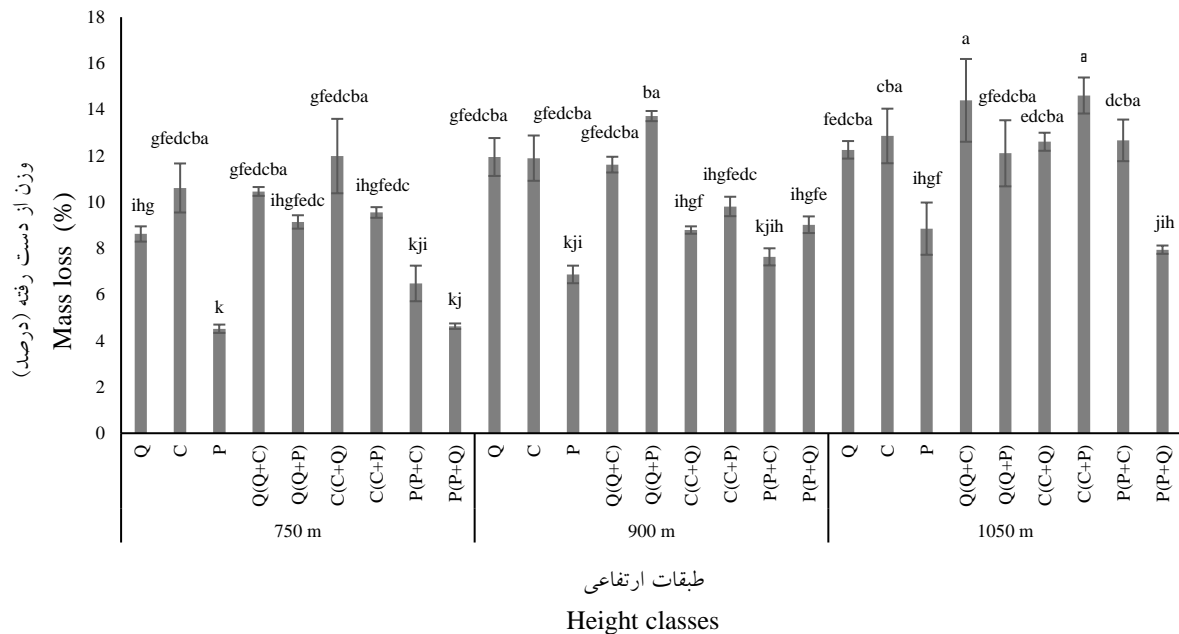
بلوط ایرانی (بلوط ایرانی+داغداغان) به ترتیب ۱۴/۶۱ و ۱۴/۴۰ درصد در ارتفاع ۱۰۵۰ متر است. بر اساس یافته‌های تحقیق کمترین مقدار وزن ازدست رفته بعد از گذشت ۳۰ روز در تیمار بنه خالص به مقدار ۴/۵۲ درصد در ارتفاع ۷۵۰ متر بوده است. در کل بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که بعد از گذشت ۳۰ روز از زمان انکوباسیون، با افزایش ارتفاع از سطح دریا مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (در هر دو حالت خالص و ترکیبی) نیز افزایش می‌یابد (شکل ۳).

مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در انکوباسیون ۳۰ روزه نتایج حاصل از تجزیه واریانس دوطرفه نشان می‌دهد که اثر متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع بر مقدار وزن ازدست رفته در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده در حالی که اثر نوع لاشبرگ و ارتفاع از سطح دریا به تنهایی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داده‌اند (جدول ۳). همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان می‌دهد بیشترین مقدار وزن ازدست رفته متعلق به تیمارهای ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) و

جدول ۳- آنالیز واریانس دوطرفه وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در طبقات مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۳۰ روز

Table 3. Two-way analysis of variance of the mass loss in the leaf litters in different altitude classes in a period of 30 days

P-value	F-value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	منابع تغییرات Source
0.000	25.732	87.107	2	174.215	ارتفاع Height
0.000	11.208	37.942	8	303.536	نوع لاشبرگ Leaf litter type
0.022	2.098	7.102	16	113.635	ارتفاع × نوع لاشبرگ Height × Leaf litter type
		3.385	54	182.800	خطا Error
			81	92.15.100	کل Total



شکل ۳- مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگها (اشتباه معیار \pm میانگین) در سطوح مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۳۰ روز. (بلوط ایرانی = Q، داغداغان = C، بنه = P، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + داغداغان) = Q(Q+C)، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + بنه) = Q(Q+P)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+Q)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+P)، بنه (بنه + بلوط ایرانی) = P(P+Q)، بنه (بنه + داغداغان) = P(P+C)).

Figure 3. The amount of mass loss from leaf litters (standard error \pm average) at different altitude levels in a period of 30 days. *Quercus brantii* = Q, *Celtis australis* = C, *Pistacia atlantica* = P, *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) = Q(Q+C), *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Pistacia atlantica*) = Q(Q+P), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Quercus brantii*) = C(C+Q), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Pistacia atlantica*) = C(C+P), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Quercus brantii*) = P(P+Q), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) = P(P+C).

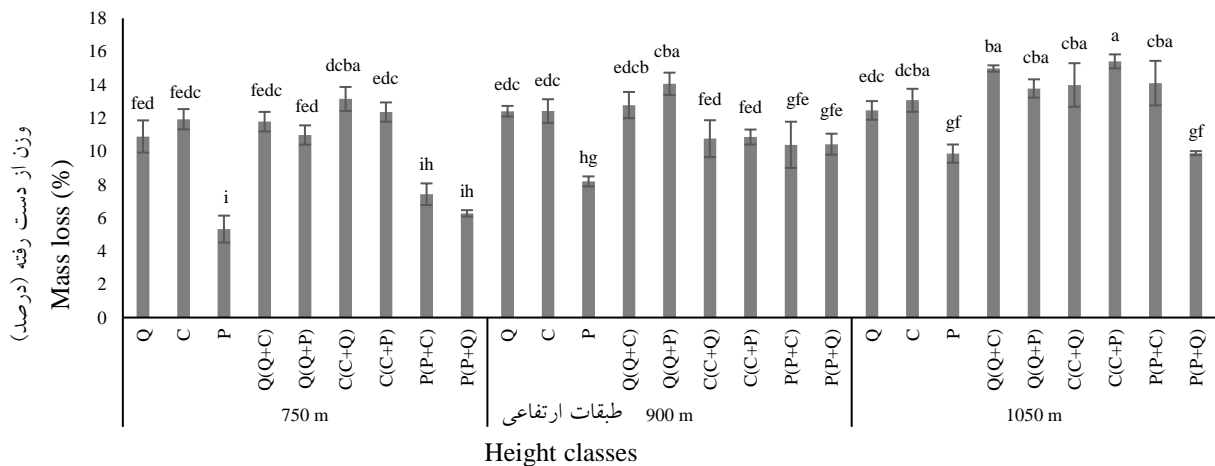
۴). مطابق با نتایج به دست آمده، بیشترین وزن ازدست رفته بعد از گذشت ۶۰ روز در تیمار ترکیبی داغداغان (بنه+داغداغان) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر و کمترین آن در تیمار بنه خالص در ارتفاع ۷۵۰ متر به ترتیب با ۱۵/۴۱ و ۵/۳۱ درصد مشاهده شد (شکل ۴).

مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگها در انکوباسیون ۶۰ روزه بر اساس آزمون آنالیز واریانس دوطرفه، اثر متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع، نوع لاشبرگ و همچنین ارتفاع از سطح دریا اثرهای معنی داری را بر مقدار وزن ازدست رفته در سطح احتمال یک درصد نشان می دهند (جدول

جدول ۴- آنالیز واریانس دوطرفه وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در طبقات مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۶۰ روز

Table 4. Two-way analysis of variance of the mass loss in the leaf litters in different altitude classes in a period of 60 days

P-value	F-value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	منابع تغییرات Source
0.000	38.54889	62.98704	2	125.9741	ارتفاع Height
0.000	21.11655	34.50342	8	276.0274	نوع لاشبرگ Leaf litter type
0.000	3.55465	5.808127	16	92.93003	ارتفاع × نوع لاشبرگ Height × Leaf litter type
		1.633952	54	88.2334	خطا Error
			81	11255.89	کل Total



شکل ۴- مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (اشتباه معیار \pm میانگین) در سطوح مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۶۰ روز (بلوط ایرانی = Q، داغداغان = C، بنه = P، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + داغداغان) = Q(Q+C)، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + بنه) = Q(Q+P)، داغداغان (داغداغان + بلوط ایرانی) = C(C+Q)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+P)، بنه (بنه + بلوط ایرانی) = P(P+Q)، بنه (بنه + داغداغان) = P(P+C))

Figure 4. The amount of mass loss from leaf litters (standard error \pm average) at different altitude levels in a period of 60 days.

(*Quercus brantii* = Q, *Celtis australis* = C, *Pistacia atlantica* = P, *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) = Q(Q+C), *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Pistacia atlantica*) = Q(Q+P), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Quercus brantii*) = C(C+Q), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Pistacia atlantica*) = C(C+P), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Quercus brantii*) = P(P+Q), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) = P(P+C))

لاشبرگ‌ها و اثر متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع اثرهای معنی‌داری را بر مقدار وزن ازدست رفته به ترتیب در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد (جدول ۵). مطابق با نتایج به دست آمده بیشترین مقدار وزن ازدست رفته

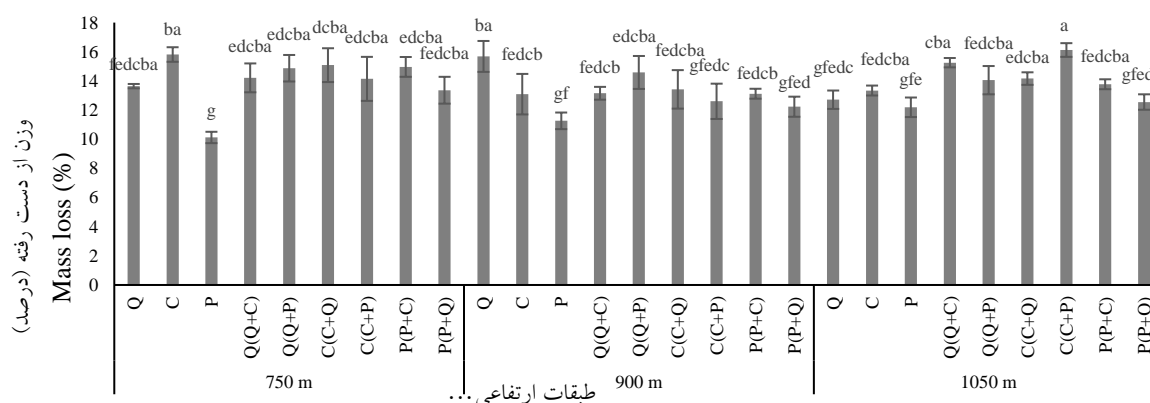
مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در انکوباسیون ۱۸۰ روزه نتایج حاصل از تجزیه واریانس دوطرفه نشان می‌دهد که در پایان انکوباسیون ۱۸۰ روزه لاشبرگ‌ها فقط نوع

متعلق به تیمار ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر (۱۶/۱۲ درصد) و کمترین آن نیز متعلق به لاشبرگ خالص بنه در ارتفاع ۷۵۰ متر (۱۰/۱۲ درصد) است. در کل بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که بعد از گذشت ۱۸۰ روز از زمان انکوباسیون، افزایش ارتفاع از سطح دریا، برخلاف دوره‌های ۳۰ و ۶۰ روزه، به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگها (در هر دو حالت خالص و ترکیبی) نداشته است (شکل ۵).

جدول ۵- آنالیز واریانس دوطرفه وزن ازدست رفته لاشبرگها در طبقات ارتفاعی در دوره زمانی ۱۸۰ روز

Table 5. Two-way analysis of variance of the mass loss in the leaf litters in different altitude classes in a period of 180 days.

P-value	F-value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	منابع تغییرات Source
0.148	1.978	4.096	2	8.192	ارتفاع Height
0.000	4.915	10.177	8	81.417	نوع لاشبرگ Leaf litter type
0.047	1.858	3.848	16	61.570	ارتفاع × نوع لاشبرگ Height × Leaf litter type
		2.071	54	111.816	خطا Error
			81	15404.025	کل Total



شکل ۵- مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگها (اشتباه معیار \pm میانگین) در سطوح مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۱۸۰ روز (بلوط ایرانی = Q، داغداغان = C، بنه = P، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + داغداغان) = Q(Q+C)، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + بنه) = Q(Q+P)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+Q)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+P)، بنه (بنه + بلوط ایرانی) = P(P+Q)، بنه (بنه + داغداغان) = P(P+C)).

Figure 5. The amount of mass loss from leaf litters (standard error \pm average) at different altitude levels in a period of 180 days

(*Quercus brantii* = Q, *Celtis australis* = C, *Pistacia atlantica* = P, *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) = Q(Q+C), *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Pistacia atlantica*) = Q(Q+P), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Quercus brantii*) = C(C+Q), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Pistacia atlantica*) = C(C+P), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Quercus brantii*) = P(P+Q), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) = P(P+C))

بحث

است (Zhou et al., 2020). در منطقه موردبررسی تفاوت بین درجه حرارت طبقه‌های ارتفاعی، از ۷۵۰ متر تا ۱۰۵۰ متر، در حدود دو درجه سانتی‌گراد است که این مقدار تفاوت می‌تواند در نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها اثرگذار باشد. اما در این پژوهش برخلاف نتایج Izadi et al. (2022) و Faber et al. (2018) این مسئله اتفاق نیفتاد. به طوری که تا ۶۰ روز اول انکوباسیون مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (در هر دو حالت خالص و ترکیبی) در طبقه ارتفاعی ۱۰۵۰ متر بیشتر از طبقات ارتفاعی پایین بود. اما در انتهای دوره انکوباسیون در طبقه ارتفاعی پایین مقدار تجزیه لاشبرگ‌ها (در هر دو حالت خالص و ترکیبی) افزایش زیادی نشان داد. بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش زمان انکوباسیون اثرهای درجه حرارت بر مقدار وزن ازدست رفته بیشتر آشکار شود. در مرحله اول تجزیه (کمتر از یک سال) کیفیت شیمیایی لاشبرگ‌ها (مخصوصاً غلظت نیتروژن و نسبت کیفی C:N) تاثیرگذار بوده و بعد از گذشت یک سال، در طول مرحله آخر فرایند تجزیه، نقش اقلیم پررنگ‌تر می‌شود (Berg and McClaugherty, 2020). افزایش درجه حرارت محیط به دلیل تاثیری که در افزایش فعالیت جوامع میکروبی و به تبع آن در افزایش کیفیت لاشبرگ دارد (Zhang et al., 2008) در بیشتر موارد منجر به افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها می‌شود (Kirwan and Blum, 2011). بر اساس نتایج Petraglia et al., 2019 نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها با کاهش مقدار رطوبت خاک کمتر می‌شود و اثر متقابل رطوبت و دمای خاک اثرهای معنی‌داری بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها دارد. در منطقه موردبررسی با اندازه‌گیری دما و رطوبت خاک در سه طبقه ارتفاعی مشخص شد که دمای خاک در سه طبقه ارتفاعی تقریباً برابر و نزدیک به هم بوده ولی رطوبت خاک با افزایش ارتفاع از سطح دریا افزایش یافت (جدول ۲). دما و رطوبت قابل

با توجه به اینکه در حالت طبیعی در جنگل لاشبرگ چند گونه در کنار همدیگر تجزیه می‌شوند؛ از این رو در پژوهش حاضر این مسئله در نظر گرفته شد تا اثرهای گردایان‌های مختلف ارتفاعی بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در هر دو حالت خالص و ترکیبی سنجیده شود. برای توصیف نرخ تجزیه لاشبرگ رویکردهای مختلفی وجود دارد: یکی از این رویکردها استفاده از شاخص‌های شیمیایی لاشبرگ نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، نسبت کیفی C:N و غیره است. در این بررسی نیز از این رویکرد استفاده شد. ارزیابی کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها نشان داد که لاشبرگ داغداغان در مقایسه با لاشبرگ‌های بلوط ایرانی و بنه از کیفیت به نسبت بالایی برخوردار است. نسبت کیفی C:N به عنوان بهترین پیش‌بینی‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ در سال اول فرایند تجزیه استفاده می‌شود (Bohara et al., 2020; Zhang et al., 2021). با توجه به پایین بودن این نسبت در لاشبرگ داغداغان مقدار وزن ازدست رفته این لاشبرگ در مقایسه با لاشبرگ‌های بلوط ایرانی و بنه بیشتر بود. با توجه به کیفیت پایین لاشبرگ بنه مقدار حساسیت آن در برابر تغییرات درجه حرارت بیشتر بوده و موافق با نظر Faber et al. (2018) طول دوره تجزیه آن زمان‌بر خواهد بود؛ به طوری که در پایان دوره بررسی مشاهده شد که این لاشبرگ کمترین مقدار تجزیه (۱۰/۱۲ درصد) را به خود اختصاص داده است. اثر افزایش درجه حرارت، به واسطه افزایش جمعیت میکروبی خاک، بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها متأثر از کیفیت لاشبرگ‌هاست (Faber et al., 2018). بنابراین نقش و اهمیت کیفیت لاشبرگ‌ها در نرخ ازدست‌دهی وزن انکارناپذیر است. هرچند پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که اثرهای کیفیت لاشبرگ در مقدار وزن ازدست رفته و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی بیشتر

می‌دهند. در این پژوهش نیز در مرحله اول فرایند تجزیه ارتفاع از سطح دریا از عوامل تاثیرگذار بوده است. باور پژوهشگران بر این است که در یک شرایط مشابه از نظر پوشش گیاهی و سنگ بستر، ارتفاع از سطح دریا می‌تواند حضور شکل‌های مختلف هوموس و مشخصات شیمیایی آنها را کنترل نماید (Berg and McClaugherty, 2020).

در کل نتایج این پژوهش نشان داد که در طول مدت زمان انکوباسیون با افزایش ارتفاع از سطح دریا و در نتیجه کاهش درجه حرارت محیط نرخ از دست‌دهی مواد آلی لاشبرگ‌ها نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش معنی‌داری (مخصوصاً در دو ماه اول انکوباسیون) نسبت به طبقات ارتفاعی پایین داشت. با توجه به محدودیت زمانی در انجام این پژوهش و همچنین متغیر بودن شرایط اثرگذار بر فرایند در طی مرحله اول تجزیه که منجر به حصول نتایج متفاوت در پایان دوره انکوباسیون (در مقایسه با دوره‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ روز) شده است، پیشنهاد می‌شود این بررسی در دوره زمانی بیش از یک سال (مرحله آخر فرایند تجزیه) انجام شود. بدون شک نتایج چنین بررسی‌هایی می‌تواند به‌خوبی اثر گرادیان-های مختلف ارتفاعی بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها را نمایان سازد.

References

- Berg, B.; McClaugherty, C. Plant litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. 4th ed.; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2020; p 332.
- Berger, T.W.; Duboc, O.; Djukic, I.; Tatzber, M.; Gerzabek, M.H.; Zehetner, F., Decomposition of beech (*Fagus sylvatica*) and pine (*Pinus nigra*) litter along an Alpine elevation gradient: Decay and nutrient release. *Geoderma* 2015, 251-252, 92-104.
- Bohara, M.; Yadav, R.K.P.; Dong, W.; Cao, J.; Hu, C., Nutrient and Isotopic Dynamics of Litter Decomposition from Different Land Uses in Naturally Restoring Taihang

دسترس، مهم‌ترین عوامل محیطی در میان عوامل اقلیمی هستند که تاثیر زیادی در فرایند تجزیه دارند (Berg and McClaugherty, 2020). همان‌طوری که پیشتر بیان شد در طول ۶۰ روز اول انکوباسیون نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در طبقه ارتفاعی ۱۰۵۰ متر نسبت به طبقه ۷۵۰ متر بیشتر بود. موافق با نتایج (Risch et al. (2007) همیشه افزایش درجه حرارت منجر به افزایش کیفیت لاشبرگ و در نتیجه افزایش نرخ تجزیه نمی‌شود. در منطقه موردپژوهش بیشتر بارش‌ها در ارتفاعات بالا رخ می‌دهد و با توجه به گرمسیری بودن منطقه مقدار تجزیه لاشبرگ‌ها، به‌ویژه در زمان وقوع نزولات آسمانی (در زمان انکوباسیون ۳۰ و ۶۰ روز) در ارتفاعات بالا بیشتر بوده و به‌آرامی با نزدیک‌شدن به انتهای انکوباسیون (خرداد ماه) از مقدار نرخ تجزیه در ارتفاعات بالا کاسته می‌شود. افزایش تاج‌بارش، از طریق کاهش پلی‌فنول‌ها طی فرایند آبشویی، موجب افزایش کیفیت لاشبرگ‌ها و خوش خوراکی آنها برای خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه-کنندگان می‌شود (Salamanca et al., 2003). به نظر می‌رسد با افزایش رطوبت خاک و محیط اطراف لاشبرگ‌ها شرایط مناسب‌تری برای تجزیه آنها فراهم می‌شود (Izadi et al., 2022). ویژگی‌های پستی و بلندی مانند ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت از عواملی هستند که آب قابل دسترس را تحت تاثیر قرار

Mountain, North China. *Sustainability* 2019, 11, 1752.

- Bohara, M.; Acharya, K.; Perveen, S.; Manevski, K.; Hu, C.; Yadav, R.K.P.; Shrestha, K.; Li, X., In situ litter decomposition and nutrient release from forest trees along an elevation gradient in Central Himalaya. *Catea* 2020, 194, 104698
- Cotrufo, M.F.; Wallenstein, M.D.; Boot, C.M.; Deneff, K.; Paul, E., The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form

- stable soil organic matter? *Global Change Biology* **2013**, *19*, 988-995.
- Dinakaran, J.; Chandra, A.; Chamoli, K.P.; Deka, J.; Rao, K.S., Soil organic carbon stabilization changes with an altitude gradient of land cover types in central Himalaya, India. *Catea* **2018**, *170*, 374-385.
- Faber, J.; Quadros, A.F.; Zimmer, M., A Space-For-Time approach to study the effects of increasing temperature on leaf litter decomposition under natural conditions. *Soil Biology and Biochemistry* **2018**, *123*, 250-256.
- Gavazov, K.; Mills, R.; Spiegelberger, T.; Lenglet, J.; Buttler, A., Biotic and Abiotic Constraints on the Decomposition of *Fagus sylvatica* Leaf Litter Along an Altitudinal Gradient in Contrasting Land-Use Types. *Ecosystems* **2014**, *17*, 1326-1337.
- Hättenschwiler, S.; Bretscher, D., Isopod effects on decomposition of litter produced under elevated CO₂, N deposition and different soil types. *Global Change Biology* **2001**, *7*, 565-579.
- Izadi, M.; Habashi, H.; Shayanmehr, M.; Rahmani, R.; Rafiee, F., Effect of simulation of throughfall exclusion and increasing ambient temperature on the litter decomposition rate of hornbeam and chestnut-leaved oak species. *Forest Research and Development* **2022**, *8* (1), 1-11. (In Persian).
- Kara, O.; Bolat, I.; Cakiroglu, K.; Senturk, M., Litter decomposition and microbial biomass in temperate forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrient* **2014**, *14* (1), 31-41.
- Kianmehr, A.; Hojjati, S.M.; Koch, Y.; Ghasemi Aghbash, 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.L.; Blum, L.K., Enhanced decomposition offsets enhanced productivity and soil carbon accumulation in coastal wetlands responding to climate change. *Biogeosciences* **2011**, *8* (4), 987-993.
- Krishna, M.P.; Mohan, M., Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology and Environment* **2017**, *2* (4), 236-249.
- Moslehi, M.; Habashi, H.; Rahmani, R.; Saghebtalebi, Kh., Relationship between soil organic carbon pool and some site variables in the mixed beech-hornbeam stand. *Forest Research and Development* **2018**, *3* (4): 329-342. (In Persian).
- Patoine, G.; Thakur, M.P.; Friese, J.; Nock, C.; Honing, L.; Haase, J.; Scherer-Lorenzen, M.; Eisenhauer, N., Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community. *Pedobiologia* **2017**, *65*, 29-42.
- Paudel, E.; Dossa, G.G.o.; de Ble'court, M.; Beckscha'fer, P.; Xu, J.; Harrison, R.D., Quantifying the factors affecting leaf litter decomposition across a tropical forest disturbance gradient. *Ecosphere* **2015**, *6* (12), 1-20.
- Petraglia, A.; Cacciatori, C.; Chelli, S., Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type. *Plant Soil* **2019**, *435*, 187-200.
- 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*, 191-201.
- Rouifed, S.; Handa, I.T.; David, J.F.; Hättenschwiler, S., The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter. *Oecologia* **2010**, *163*, 247-256.
- 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.
- Vesterdal, L.; Schmidt, I.K.; Callesen, I.; Nilsson, L.O.; Gundersen, P., Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management* **2008**, *255*, 35-48.
- Zhang, Y.; Penning, S.C.; Liu, Z.; Li, B.; Wu, J., Consistent pattern of higher lability of leaves from high latitudes for both native *Phragmites australis* and exotic *Spartina alterniflora*. *Functional Ecology* **2021**, *39* (9), 2084-2093.
- Zhang, D.; Hui, D.; Luo, Y.; Zhou, G., Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology* **2008**, *1*, 85-93.
- Zhou, S.; Butenschoen, O.; Barantal, S.; Handa, I.T.; Makkonen, M.; Vos, V.; Aerts, R.; Berg, M.P.; McKie, B.; Van Ruijven, J.; Hättenschwiler, S.; Scheu, S., Decomposition of leaf litter mixtures across biomes: The role

-
- of litter identity, diversity and soil fauna. *Journal of Ecology* **2020**, *108*, 2283-2297.
- Zhu, J.X.; Hu, X.Y.; Yao, H.; Liu, G.H.; Ji, C.J.; Fang, J.Y., A significant carbon sink in temperate forests in Beijing: based on 20-year field measurements in three stands. *Science China Life Sciences* **2015**, *58*, 1135-1141.

Evaluation of the Space-For-Time approach to study of the effects of temperature increasing on the leaf litter decomposition

Sanaz Ramezani¹ and Farhad Ghasemi Aghbash^{*2}

1- MSc. Student of Forestry, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (sanaz.ramezani73@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (ghasemifarhad@yahoo.com)

Received: 09 August 2023 Accepted: 05 November 2023

Abstract

Background and objectives: In forest ecosystems, the decomposition of leaf litter is one of the most important ways of entering nutrients into the soil, and the availability of soil nutrients is largely due to the dynamics of nutrients and leaf litter decomposition in the forest. Decomposition of dead leaves enables important ecological functions and affects the composition of the internal nutrients of trees. Decomposition processes influence the formation of soil organic carbon stocks. It is necessary to understand how climate change and global warming affect the decomposition process and thus the amount of carbon stored in the soil. The space-for-time (SFT) approach makes it possible to compare litter decomposition in current conditions and at different altitude levels, and to investigate the effects of increased temperature on litter decomposition. The present research was conducted with the aim of investigating the effects of increasing or decreasing temperature on the decomposition rate of leaf litters in pure and mixed states.

Methodology: In the present research, by using the space-for-time approach, the decomposition rate of leaf litters (in two pure and mixed states) in three tree species (*Quercus brantii*, *Celtis australis* and *Pistacia atlantica*) was carried out in three altitude classes of 750, 900 and 1050 meters in the forests of Dareh Shahr. The forests of this region have relatively severe topography and have mountains and hills with steep and smooth slopes, and there are rocky outcrops in many parts of it. The average height of the area is 1200 meters and the average slope is 15%. The average annual temperature is 21.40°C and the average annual precipitation in this region is 426.3 mm. The climate type of the studied area is semi-humid. To achieve the objectives of the research, the leaf litter of the studied species were randomly and manually collected from the forest floor in the fall season of 2020. After preparing litter bags, a number of 243 single-pocket and double-pocket litter bags were installed on the mineral soil at the litter collection sites and during 180 days with intervals of 30, 60 and 180 days and the decomposition rate of the leaf litters were measured. In order to measure the decomposition rate of the leaf litters, the primary and secondary weight of the leaf litter was recorded and the weight loss of the leaf litter was calculated through the weight relationships. To determine the initial quality of leaf litters, the nutritional elements of leaf litters such as nitrogen, carbon, phosphorus, calcium, potassium and magnesium were measured.

Results: Based on the results, it was found that the studied leaf litters are similar in terms of magnesium, phosphorus and nitrogen concentrations. *Quercus brantii* leaf litters had the highest amount in terms of potassium and carbon concentrations. Also, *Celtis australis* leaf litters had the highest amount in terms of calcium concentration. The quality ratio of C:N in *Celtis australis* litter was low, this issue shows the high quality of this leaf litter. The results showed that in the studied time periods, litter type, height above sea level (except for the period of 180 days) and the interaction effects of litter type and height had significant effects on decomposition rate, so that increasing the altitude above sea level has led to further decomposition process. Based on the findings of the research, it was found that in the period of 30 days, the highest amount of decomposition related to the combined treatments of *Celtis australis* (*Celtis australis*+*Pistacia atlantica*) and *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) (14.61% and 14.40% respectively) at the height of 1050 meters and the lowest was related to the treatment of

* Corresponding author

Tel: +989122379717

Pistacia atlantica (4.52%) at the height of 750 meters. In the period of 60 days, the highest amount of decomposition rate was observed in the combined treatment of *Celtis australis* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) at the height of 1050 meters (15.41%) and the lowest amount of mass loss was observed in the treatment of *Pistacia atlantica* at the height of 750 meters (5.31%). Also, at the end of the incubation period, the highest amount of decomposition rate belongs to the combined treatment of *Celtis australis* (*Celtis australis*+*Pistacia atlantica*) at the height of 1050 meters (16.12%) and the lowest is related to the pure leaf litter of *Pistacia atlantica* at the height of 750 meters (10.12%).

Conclusion: In general, based on the findings of this research, with the increase in altitude above the sea level, the rate of mass loss not only did not decrease, but also increased significantly (especially in the first two months of incubation) compared to the lower altitude classes. Also, at the end of the study period, only the interaction of height and type of litter was able to affect the amount of decomposition of litter.

Keywords: Altitudinal gradient, litterbag, Mass loss, Temperature, Zagros forests.