

## اثرات لاشبرگ‌های ترکیبی بلوط ایرانی، داغداغان و بنه بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: استان ایلام)

ساناز رضانی<sup>۱</sup> و فرهاد قاسمی آقباش<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷)

### چکیده

تجزیه لاشبرگ نقش کلیدی در چرخه عناصر غذایی بوم‌سازگان‌های جنگلی بازی می‌کند، با این حال هنوز درک جامعی در مورد اثرات لاشبرگ‌های ترکیبی بر نرخ تجزیه وجود ندارد. در مطالعه حاضر پویایی عناصر غذایی و نرخ تجزیه لاشبرگ‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، داغداغان (*Celtis australis* L.) و بنه (*Pistacia atlantica* Desf) در حالت‌های خالص و ترکیبی بررسی شد. در این پژوهش تعداد ۸۱ کیسه لاشبرگ تک‌جیبه و دوجیبه در منطقه مورد بررسی نصب و طی ۱۸۰ روز با فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز مورد انکوباسیون قرار گرفتند. براساس نتایج، در پایان دوره انکوباسیون، تجزیه لاشبرگ بلوط در ترکیب با لاشبرگ داغداغان، لاشبرگ داغداغان در ترکیب با لاشبرگ بنه و لاشبرگ بنه در ترکیب با لاشبرگ بلوط مثبت و از نوع هم‌افزایی بود. همچنین در پایان دوره بررسی، غلظت نیتروژن در لاشبرگ بلوط ترکیبی با داغداغان بیشتر از حالت خالص آن بود، اما غلظت فسفر در حالت‌های خالص و ترکیبی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. غلظت پتاسیم فقط در لاشبرگ بنه ترکیبی با بلوط بیشتر از حالت خالص آن بود. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده اثرات غیرافزایشی مثبت لاشبرگ‌های ترکیبی بر نرخ تجزیه بود، ولی در خصوص پویایی عناصر غذایی، این اثرات فقط در مورد نیتروژن مثبت گزارش شد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت لاشبرگ، اثرات غیرافزایشی، بلوط ایرانی، کیسه لاشبرگ، جنگل‌های زاگرس

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghasemifarhad@yahoo.com

## مقدمه

تجزیه لاشبرگ، فرایندی کلیدی در چرخه‌های عناصر غذایی و جریان انرژی از گیاهان به خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی است (۳۳) که در نتیجه آن انتشار کربن اتمسفری، ترکیب مواد آلی خاک و قابل دسترس بودن عناصر غذایی خاک تغییر می‌کند (۲۵). تجزیه لاشبرگ از طریق انتقال و ذخیره کربن در افق‌های آلی و معدنی، حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد (۲۶) که در نتیجه آن مقدار تولید اولیه بوم‌سازگان‌ها نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۹). بنابراین، درک بهتر تجزیه لاشبرگ‌ها در پیش‌بینی فرایندها و عملکردهای بوم‌سازگان‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است (۱). در دهه‌های گذشته بیشتر مطالعات تجزیه لاشبرگ روی تجزیه تک گونه‌ها متمرکز شده بود (۱۵). در حالی‌که، در بوم‌سازگان‌های جنگلی لاشبرگ گونه‌های درختی در کنار هم تجزیه شده و اثرات غیرافزایشی (Non-additive effects) برهم دارند که ممکن است مثبت، منفی یا بی‌اثر باشد. بنابراین، در سال‌های اخیر مسئله ارتباط بین تنوع درختی و تجزیه لاشبرگ مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است (۸، ۱۱، ۲۵، ۲۶، ۳۳). تشخیص این مسئله که چگونه لاشبرگ‌های ترکیبی بر فرایند تجزیه اثر می‌گذارند برای درک بهتر چرخه کربن و عناصر غذایی خاک ضروری است. برخی از مطالعات گزارش داده‌اند که نرخ تجزیه لاشبرگ در حالت ترکیبی بیشتر از حالت خالص است در حالی‌که عکس این مسئله نیز ثابت شده است (۲۶). زمانی که لاشبرگ دو گونه، با کیفیت متفاوت، باهم ترکیب می‌شود امکان ایجاد دو وضعیت وجود دارد: اثر هم‌افزایی (Synergistic effect) و اثر متضاد (Antagonistic effect) که هر دو اینها تحت عنوان اثرات غیرافزایشی نامگذاری می‌شوند (۲۵). در لاشبرگ‌های ترکیبی، مکانیسم‌های اساسی اثرات هم‌افزایی تحت تاثیر سه عامل اصلی قرار می‌گیرند: الف) نقل و انتقال عناصر (مخصوصاً نیتروژن و فسفر) از لاشبرگ با کیفیت بالا به لاشبرگ با کیفیت پایین، ب) اثرات مکمل فون خاک و تجزیه‌کننده‌ها، ج) بهبود شرایط خرد اقلیم در طول فرایند تجزیه (۳۰، ۳۳). برعکس، اثرات متضاد اغلب با افزایش تثبیت عناصر

غذایی در لاشبرگ‌هایی ضعیف یا ترکیبات ثانویه بازدارنده آزاد شده از لاشبرگ‌های با کیفیت پایین ایجاد می‌شود (۲۵). وجود نتایج متناقض در خصوص تجزیه لاشبرگ‌های ترکیبی ناشی از نوع طراحی آزمایش (۲، ۲۲، ۳۴)، مناطق مختلف آب و هوایی، طول مدت زمان آزمایش (از چند هفته تا چند سال) و اندازه روزنه‌های کیسه‌لاشبرگ‌ها (۲۵) است که این مسئله امکان هرگونه نتیجه‌گیری کلی را مختل کرده است.

ترکیب لاشبرگ گونه‌های درختی با کارکردهای مختلف منجر به بهبود چرخه عناصر غذایی می‌شود. در این رابطه زنگ و همکاران (۳۳) اثرات ترکیب لاشبرگ گونه‌های درختی مورد استفاده در سیستم‌های آگروفارستری کشور چین (*Quercus* و *Cupressus funebris*, *Pinus massoniana*) را بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها بررسی کردند. براساس نتایج ایشان مشخص شد که بعد از گذشت ۲۴۰ روز از مدت زمان انکوباسیون اثرات غیرافزایشی مثبت در خصوص تجزیه لاشبرگ‌ها رخ داده است. همچنین اثرات ترکیب لاشبرگ اثرهای هم‌افزایی مثبت، در خصوص آزادسازی عناصر کربن، نیتروژن و فسفر، را در کلیه تیمارها از روز ۶۰ انکوباسیون به دنبال داشته است. بیرانوند و قاسمی آقباش (۶) اثرات غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌های کاج سیاه (*Pinus nigra* Arnold) و عرعر (*Ailanthus altissima* Mill.) بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی را در جنگل‌کاری آمیخته این دو گونه بررسی کرده و گزارش دادند که ترکیب لاشبرگ‌ها منجر به اثرات غیرافزایشی مثبت لاشبرگ عرعر بر سوزن‌های کاج سیاه در ارتباط با تجزیه و پویایی عناصر نیتروژن، فسفر و کلسیم سوزن‌ها می‌شود. لیو و همکاران (۲۵) تئوری اثرات هم‌افزایی ترکیب لاشبرگ‌ها را به‌عنوان یک موضوع رایج در تجزیه لاشبرگ‌های ترکیبی را بررسی کرده و گزارش دادند که کیفیت لاشبرگ اثرات ترکیب لاشبرگ‌ها را تغییر می‌دهد. یافته‌ها نشان داد که انتقال عناصر غذایی، فون خاک و ترکیبات ثانویه بازدارنده می‌توانند بر اثرات ترکیب لاشبرگ‌ها اثرگذار باشند. همچنین اثرات هم‌افزایی و متضاد به‌طور همزمان رخ می‌دهد و اثر نهایی

و بنه (*Pistacia atlantica* Desf) است. موقعیت منطقه مورد بررسی در استان و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

### روش انجام تحقیق

با در نظر گرفتن حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا، طبقه ارتفاعی ۹۰۰ متر برای انجام این پژوهش انتخاب شد. قبل از خزان برگ‌ها سه منطقه به‌منظور جمع‌آوری لاشبرگ‌های تازه پاکسازی شدند. در اواسط آبان ماه ۱۴۰۰ حدود سه کیلوگرم لاشبرگ به تفکیک گونه‌های درختی مورد بررسی 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) انتخاب شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در این پژوهش از روش کیسه‌لاشبرگ برای بررسی فرایند تجزیه لاشبرگ‌ها استفاده شد. از کیسه‌لاشبرگ‌های تک‌جیبه برای بررسی لاشبرگ‌های خالص و دوجیبه برای لاشبرگ‌های ترکیبی استفاده شد. ابعاد کیسه‌لاشبرگ‌های استفاده شده ۲۰×۲۰ سانتی‌متر با منافذ ۲ میلی‌متر بود (۳). با توجه به تعداد تکرارهای آزمایش (سه تکرار)، حالت‌های مختلف قرارگیری لاشبرگ‌ها در کیسه‌لاشبرگ‌ها (بلوط خالص، داغداغان خالص و بنه خالص در کیسه‌لاشبرگ‌های تک‌جیبه، بلوط+داغداغان، بلوط+بنه، داغداغان+بلوط، داغداغان+بنه، بنه+بلوط و بنه+داغداغان در کیسه‌لاشبرگ‌های دوجیبه) ۲۷ کیسه‌لاشبرگ تک‌جیبه و ۵۴ کیسه‌لاشبرگ دوجیبه آماده شد. طول دوره آزمایش ۱۸۰ روز بوده و سه دوره زمانی (۳۰ روز (دی ماه ۱۴۰۰)، ۶۰ روز (بهمن ماه ۱۴۰۰) و ۱۸۰ روز (خرداد ماه ۱۴۰۱)) به‌منظور برداشت کیسه‌لاشبرگ‌ها انتخاب شد. کیسه‌لاشبرگ‌های آماده شده در اوایل آذر ماه ۱۴۰۰ در همان مناطق جمع‌آوری با استفاده از میخ‌های آهنی ۱۰ سانتی‌متری نصب شدند. لاشبرگ‌ها در هر دوره پس از انتقال به آزمایشگاه، پاک شدند و در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت

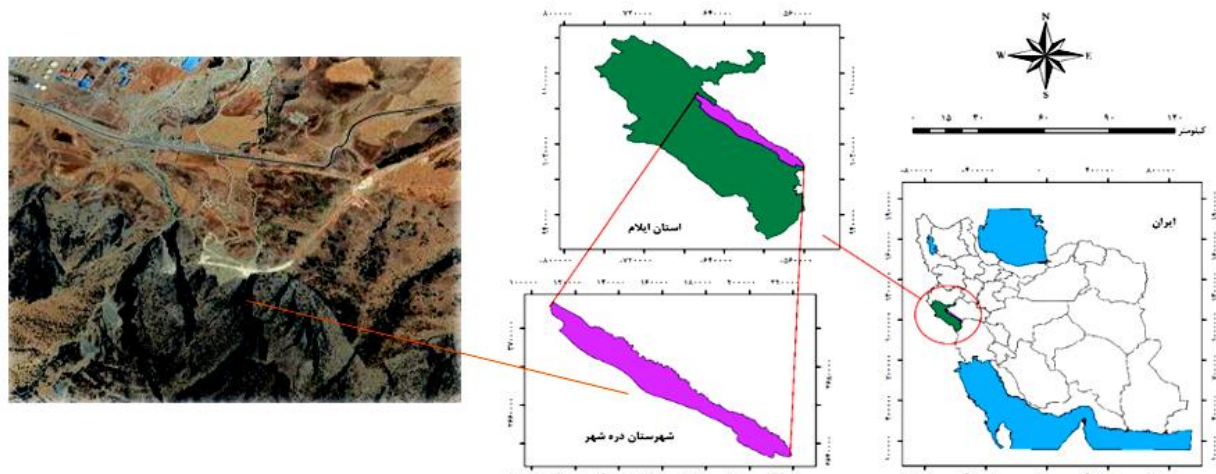
ترکیب لاشبرگ‌ها از تعامل بین آنها حاصل می‌شود. به‌طور کلی نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که لاشبرگ‌ها در حالت‌های ترکیبی دارای اثرات غیرافزایشی متفاوتی هستند و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد عامل اقلیم، مدت زمان بررسی و روش مورد استفاده از عوامل مهم ایجاد اختلاف در نتایج چنین تحقیقاتی است. برای بررسی این مسئله که اثرات غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌های گونه‌های درختی غالب، با کیفیت‌های مختلف، در رابطه با نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی به چه حالتی است، پژوهش حاضر در جنگل‌های دره‌شهر استان ایلام انجام شد. نتایج چنین پژوهش‌هایی می‌تواند در آشکارسازی وضعیت عناصر غذایی لاشبرگ‌ها، در حالت‌های مختلف آمیختگی، حایز اهمیت باشد.

در این پژوهش فرض شد که: الف) اثرات هم‌افزایی لاشبرگ‌های ترکیبی زمانی که کیفیت شیمیایی لاشبرگ‌ها متفاوت باشد، افزایش می‌یابد. ب) تجزیه لاشبرگ‌ها در حالت آمیختگی متاثر از کیفیت لاشبرگ‌هاست.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در جنگل‌های واقع در فاصله ۱۶ کیلومتری بخش مرکزی شهرستان دره شهر استان ایلام انجام شد. این جنگل‌ها بین طول‌های جغرافیایی "۴۷° ۳۲' ۴۷" تا "۴۷° ۲۹' ۴۹" و عرض‌های جغرافیایی "۳۳° ۲' ۴۹" تا "۳۳° ۶' ۲۸" قرار گرفته‌اند. حداکثر ارتفاع از سطح دریای این جنگل‌ها ۱۰۵۰ متر و حداقل آن ۷۵۰ متر است. شیب متوسط منطقه مورد پژوهش ۱۵ درصد است. عمق خاک در بسیاری از قسمت‌های منطقه به‌دلیل صخره‌ای بودن، کم بوده (۷-۱۵ سانتی‌متر) و سنگریزه‌دار است. براساس آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان دره شهر متوسط دمای سالانه منطقه ۲۱/۴۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۴۲۶/۳ میلی‌متر و نوع اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب است. گونه‌های درختی غالب این جنگل‌ها شامل بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، داغداغان (*Celtis caucasica* Will.)



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی در استان ایلام و کشور

خشک اولیه لاشبرگ دوم در ترکیب اثرات هم‌افزایی و رقابتی لاشبرگ‌ها در وضعیت آمیختگی از طریق رابطه ۳ محاسبه شد (۳۲). مقادیر منفی و مثبت به ترتیب نشان‌دهنده اثرهای رقابتی و هم‌افزایی لاشبرگ‌ها در ترکیب است. رابطه ۳ = اثرهای غیرافزایشی لاشبرگ‌ها  $\times 100$  (مقادیر مورد انتظار / مقادیر مشاهده شده - مقادیر مورد انتظار)

### تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد تأیید قرار گرفت. مقایسه کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها از طریق آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) برای مقایسه‌های کلی و از طریق آزمون دانکن برای مقایسه میانگین گروه‌ها انجام گرفت. از آزمون تی جفتی برای مقایسه مقدار تجزیه و غلظت عناصر غذایی لاشبرگ‌ها در حالت‌های خالص و ترکیبی استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS Ver. 22 و در سطوح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد انجام شد.

### نتایج

#### کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها

براساس نتایج مشخص شد که لاشبرگ‌ها از لحاظ غلظت‌های منیزیم، فسفر و نیتروژن، کیفیت مشابهی دارند. لاشبرگ بلوط

خشک شدند. سپس با استفاده از آسیاب خرد شده و در نهایت آنالیزهای شیمیایی برای تعیین عناصر غذایی لاشبرگ‌ها شامل نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم انجام گرفت. سنجش نیتروژن لاشبرگ‌ها با استفاده از روش کلدال (۱۰)، تعیین درصد کربن آلی از روش احتراق (۲۷)، سنجش فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج ۴۳۰ نانومتر (۲۸) و اندازه‌گیری کلسیم، منیزیم و پتاسیم لاشبرگ‌ها نیز با استفاده از روش طیف‌سنج اتمی و دستگاه طیف‌سنج اتمی (۲۱) انجام شد. برای محاسبه وزن (ماده آلی) از دست‌رفته لاشبرگ‌ها از رابطه وزنی زیر استفاده شد:

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

Mass loss: درصد وزن از دست‌رفته،  $W_0$ : وزن خشک اولیه،  $W_t$ : وزن خشک باقی‌مانده بعد از جمع‌آوری لاشبرگ

لازم به ذکر است که وزن ثانویه لاشبرگ‌ها با در نظر گرفتن میزان رطوبت اولیه آنها تصحیح شد. از طریق رابطه ۲ مقادیر وزن‌های باقی‌مانده مورد انتظار هر یک از لاشبرگ‌ها در وضعیت آمیختگی محاسبه شد (۲۰):

$$\text{رابطه ۲} \quad = \text{وزن باقی‌مانده مورد انتظار } (\%)$$

$$[M1/M1+M2] \times R1 + [M2/M1+M2] \times R2$$

R1: وزن باقی‌مانده لاشبرگ گونه اول، R2: وزن باقی‌مانده

لاشبرگ گونه دوم

M1: وزن خشک اولیه لاشبرگ اول در ترکیب، M2: وزن



شکل ۲. کیسه‌های لاشبرگ‌های نصب شده در جنگل

جدول ۱. ترکیب شیمیایی اولیه لاشبرگ گونه‌های مورد بررسی (اشتباه معیار  $\pm$  میانگین) (میلی‌گرم بر گرم)

عناصر غذایی	بلوط ایرانی	داغداغان	بنه
نیترژن	$12/71 \pm 0/76^a$	$11/82 \pm 0/28^a$	$11/15 \pm 0/88^a$
فسفر	$11/81 \pm 1/43^a$	$11/95 \pm 0/80^a$	$11/76 \pm 0/88^a$
پتاسیم	$32/09 \pm 1/23^a$	$26/82 \pm 0/83^b$	$29/93 \pm 1/54^b$
کلسیم	$7/98 \pm 0/87^c$	$14/92 \pm 0/82^a$	$10/01 \pm 0/97^b$
منیزیم	$17/08 \pm 0/71^a$	$16/82 \pm 0/98^a$	$16/24 \pm 0/63^a$
کربن	$397/33 \pm 4/37^a$	$345/97 \pm 0/67^c$	$374/45 \pm 4/52^b$
C:N	$31/26 \pm 1/21^b$	$29/71 \pm 0/82^c$	$33/58 \pm 0/32^a$

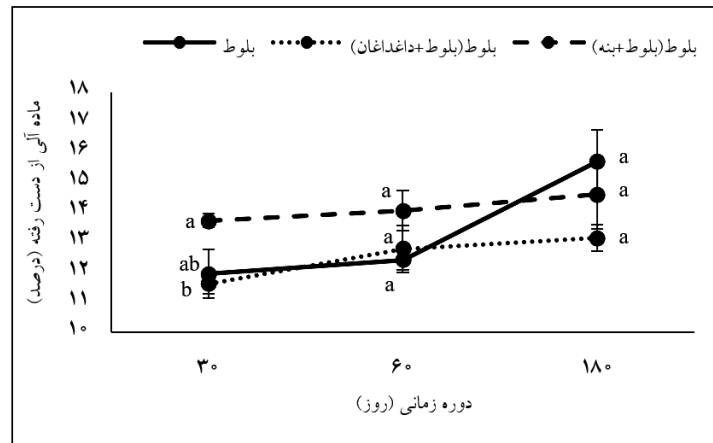
ایرانی از نظر غلظت‌های پتاسیم و کربن و لاشبرگ داغداغان نیز از نظر غلظت کلسیم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. از لحاظ نسبت کیفی C:N بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در لاشبرگ‌های بنه و داغداغان حاصل شد که نشان می‌دهد لاشبرگ داغداغان نسبت به دو لاشبرگ دیگر از کیفیت نسبتاً بالاتری برخوردار است (جدول ۱).

#### ماده آلی از دست رفته در حالت‌های خالص و ترکیبی

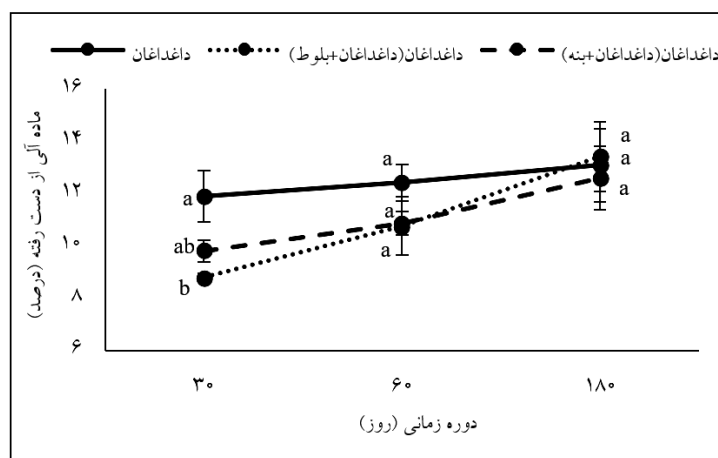
نتایج نشان داد که در صورت ترکیب لاشبرگ بلوط ایرانی با لاشبرگ‌های داغداغان و بنه فقط در ۳۰ روز اول انکوباسیون لاشبرگ بنه اثر مثبت در تجزیه لاشبرگ بلوط داشته است. در بقیه زمان‌ها اثر معنی‌داری در خصوص تجزیه لاشبرگ‌های ترکیبی مشاهده نشد (شکل ۳ الف). در خصوص لاشبرگ داغداغان در ۳۰ روز اول انکوباسیون لاشبرگ خالص داغداغان

نسبت به لاشبرگ‌های ترکیبی (مخلوط با بلوط ایرانی و بنه) از نرخ تجزیه بالایی برخوردار بود ولی تا آخر دوره زمانی انکوباسیون بین مقدار ماده آلی از دست رفته لاشبرگ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳ ب). اما در خصوص لاشبرگ بنه (لاشبرگ با کیفیت پایین) وضعیت کاملاً متفاوت بود. به طوری که در ۳۰ روز اول، لاشبرگ بلوط و در روز ۶۰ لاشبرگ‌های بلوط و داغداغان اثر مثبت معنی‌داری در نرخ تجزیه لاشبرگ بنه داشته‌اند. در روز ۱۸۰ تفاوت معنی‌داری بین تجزیه لاشبرگ خالص بنه با لاشبرگ‌های ترکیبی با بلوط و داغداغان مشاهده نشد (شکل ۳ ج).

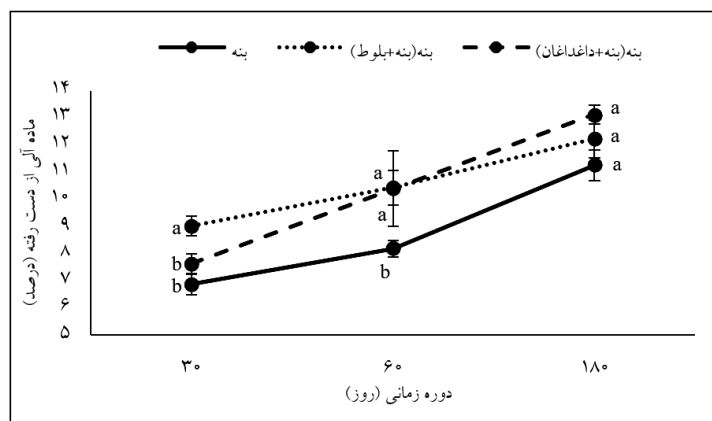
اثرات غیرافزایشی وزن از دست رفته لاشبرگ‌ها در حالت ترکیبی براساس نتایج مشخص شد که اثرات غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها در دوره زمانی ۳۰ روز در خصوص ماده آلی از



الف



ب



ج

شکل ۳. ماده آلی از دست رفته لاشبرگ‌ها در حالت‌های خالص و ترکیبی

دست رفته لاشبرگ بلوط در حالت ترکیبی (بلوط+داغداغان و (داغداغان+بنه) منفی و از نوع رقابتی بوده درحالی که در بلوط+بنه) و لاشبرگ داغداغان در وضعیت ترکیبی خصوص بقیه لاشبرگ‌ها (داغداغان در حالت ترکیب با بلوط،

خصوصیات شیمیایی مخصوص خود را داشته و در نرخی متفاوت با لاشبرگ‌های دیگر تجزیه می‌شوند. براساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که از نظر کیفیت اولیه، لاشبرگ داغداغان نسبت به لاشبرگ‌های بلوط ایرانی و بنه از نسبت C:N پایینی برخوردار بود. براساس گزارشات (۶، ۲۳) مقادیر نیتروژن و نسبت C:N از شاخص‌های کیفی مهم لاشبرگ‌ها بوده و در پژوهش حاضر نیز پایین بودن نسبت C:N در لاشبرگ گونه داغداغان نشان‌دهنده برتری کیفی آن نسبت به لاشبرگ‌های بلوط ایرانی و بنه است (جدول ۱). بوهارا و همکاران (۲) معتقد هستند که پایین بودن نسبت C:N تاثیر زیادی در نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در کوتاه‌مدت دارد. بنابراین، انتظار تجزیه بالای لاشبرگ‌های آمیخته شده با لاشبرگ‌های داغداغان در ترکیب وجود دارد.

یافته‌های تحقیق در خصوص اثرات ترکیب لاشبرگ‌ها بر مقدار ماده آلی از دست رفته لاشبرگ‌ها نشان داد که در کوتاه‌مدت (۶۰ روز اول فرایند) این اثرات فقط در لاشبرگ بنه، که نسبت به دو لاشبرگ دیگر از کیفیت پایینی برخوردار بود، مثبت بوده است (شکل ۳ ج). مکانیسم نقل و انتقال عناصر غذایی از لاشبرگ با کیفیت بالا به لاشبرگ با کیفیت پایین موجب تحریک میکروارگانیسم‌ها شده در نتیجه نرخ تجزیه لاشبرگ ضعیف نیز ارتقاء می‌یابد (۱۴). در مرحله اول فرایند تجزیه (کمتر از یک سال)، لاشبرگ‌های تازه کربن و مواد مغذی لازم را برای جانداران و میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌کنند (۲۶). همچنین در این مرحله نقل و انتقال عناصر غذایی بین لاشبرگ‌ها با نرخ بالایی انجام می‌پذیرد (۱۲، ۲۴). بنابراین این مسئله می‌تواند اثرات هم‌افزایی در تجزیه لاشبرگ‌های آمیخته ایجاد کند (۱۹، ۳۱). گائو و همکاران (۱۴) اعتقاد دارند که در لاشبرگ‌های ترکیبی، ترکیبات مقاومی که از لاشبرگ ضعیف آزاد می‌شوند می‌توانند نرخ تجزیه لاشبرگ با کیفیت بالا را به تاخیر بیندازد. ولی در مغایرت با نتایج ایشان و موافق با نتایج لیو و همکاران (۲۵) در مطالعه حاضر خللی در تجزیه لاشبرگ‌های با کیفیت بالا (داغداغان و بلوط ایرانی) در مقایسه

بنه در حالت ترکیبی با داغداغان و بلوط) اثرات مثبت و از نوع هم‌افزایی بوده است. اما در پایان دوره انکوباسیون، تجزیه لاشبرگ بلوط در ترکیب بلوط+داغداغان، داغداغان در ترکیب داغداغان+بنه و بنه در ترکیب بنه+بلوط از نوع هم‌افزایی بوده است (جدول ۲).

### پویایی عناصر غذایی (N, P, K) لاشبرگ‌ها در حالت‌های خالص و ترکیبی

بررسی وضعیت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم لاشبرگ‌ها در حالت‌های خالص و ترکیبی نشان داد که در پایان دوره انکوباسیون ۱۸۰ روزه غلظت نیتروژن در لاشبرگ بلوط ترکیبی با داغداغان در مقایسه با حالت بلوط خالص و بلوط ترکیبی با بنه از مقدار بالایی برخوردار بوده است (شکل ۴ الف). در خصوص غلظت نیتروژن لاشبرگ داغداغان نیز حالت ترکیبی آن با بنه در پایان دوره بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است (شکل ۴ ب). در لاشبرگ ترکیبی بنه با داغداغان بیشترین مقدار نیتروژن در پایان دوره انکوباسیون مشاهده شد (شکل ۴ ج). برخلاف نیتروژن، غلظت فسفر در سه لاشبرگ مورد بررسی در پایان دوره انکوباسیون در حالت‌های خالص و ترکیبی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (شکل‌های ۴ د، ه، و). در خصوص غلظت پتاسیم نیز وضعیت تا حدودی مشابه عنصر فسفر بوده (شکل‌های ۴ ز، ح) و فقط در لاشبرگ بنه ترکیب شده با لاشبرگ بلوط مقدار پتاسیم بیشتر از حالت خالص بوده است (شکل ۴ ط).

### بحث

کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها شاخص مهمی در فرایند تجزیه است. به‌طوری که مطالعات گذشته نشان داده‌اند که کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها (خصوصیات شیمیایی اولیه مانند محتوی کربن، نیتروژن و نسبت کیفی C:N) در مقایسه با سایر عوامل (مانند اقلیم) نقش موثری در کنترل نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها و جمعیت میکروبی خاک دارد (۴، ۱۳، ۲۶). لاشبرگ گونه‌های مختلف

جدول ۲. اثرات غیرافزایشی وزن از دست رفته لاشبرگ‌ها در حالت ترکیبی

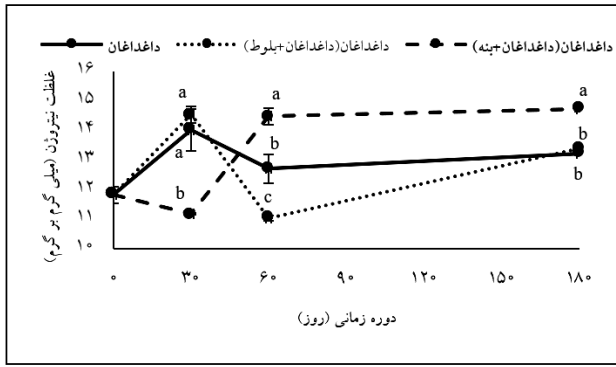
دوره زمانی ۳۰ روز					
حالت آمیختگی	لاشبرگ مورد بررسی	وزن مورد انتظار	وزن مشاهده شده	اثر غیرافزایشی	نوع اثر
بلوط+داغداغان	بلوط	۱۰/۲۰	۱۱/۶۲	- ۱۳/۹۲	رقابتی
بلوط+بنه	بلوط	۱۰/۳۲	۱۳/۷۲	- ۱۲/۶۰	رقابتی
داغداغان+ بلوط	داغداغان	۱۰/۲۰	۸/۷۹	۱۶/۸۶	هم‌افزایی
داغداغان+بنه	داغداغان	۸/۷۱	۹/۸۱	- ۱۲/۶۳	رقابتی
بنه+بلوط	بنه	۱۱/۳۷	۹/۰۲	۲۰/۶۷	هم‌افزایی
بنه+داغداغان	بنه	۸/۷۱	۷/۶۳	۱۲/۴۰	هم‌افزایی
دوره زمانی ۶۰ روز					
بلوط+داغداغان	بلوط	۱۱/۷۷	۱۲/۷۸	- ۸/۵۸	رقابتی
بلوط+بنه	بلوط	۱۱/۶۰	۱۴/۰۶	- ۱۰/۱۷	رقابتی
داغداغان+ بلوط	داغداغان	۱۱/۷۷	۱۰/۷۶	۸/۵۸	هم‌افزایی
داغداغان+بنه	داغداغان	۱۰/۶۳	۱۰/۸۶	- ۲/۱۶	رقابتی
بنه+بلوط	بنه	۱۲/۲۳	۱۰/۴۳	۱۴/۷۲	هم‌افزایی
بنه+داغداغان	بنه	۱۰/۳۸	۱۰/۳۹	- ۰/۱۰	رقابتی
دوره زمانی ۱۸۰ روز					
بلوط+داغداغان	بلوط	۱۳/۳۲	۱۳/۱۵	۱/۲۸	هم‌افزایی
بلوط+بنه	بلوط	۱۲/۶۹	۱۴/۵۸	- ۱۴/۸۹	رقابتی
داغداغان+ بلوط	داغداغان	۱۳/۲۹	۱۳/۴۲	- ۰/۹۸	رقابتی
داغداغان+بنه	داغداغان	۱۲/۸۶	۱۲/۶۰	۲/۰۲	هم‌افزایی
بنه+بلوط	بنه	۱۳/۴۱	۱۲/۲۳	۸/۸۰	هم‌افزایی
بنه+داغداغان	بنه	۱۲/۸۶	۱۳/۱۲	- ۲/۰۲	رقابتی

نظر گائو و همکاران (۱۴) تغییرات ایجاد شده در ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ها و نیز میکرواقلیم در طی فرایند تجزیه اثرات غیرافزایشی تجزیه لاشبرگ‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد به طوری که در پژوهش حاضر نیز این مسئله حاصل شد (جدول ۲). اثرات هم‌افزایی لاشبرگ‌ها در هردوی لاشبرگ‌های غنی و ضعیف در ترکیب مشاهده شده است. بنابراین در موافقت با نتایج لیو و همکاران (۲۵) می‌توان ادعان داشت که ترکیب لاشبرگ‌ها در هر حالت منافع آمیختگی را به دنبال خواهد داشت. زیرا، عناصر غذایی آزاد شده از لاشبرگ‌های با کیفیت محدودیت‌های رشد جانداران و میکروارگانیسم‌های خاک را رفع خواهند کرد.

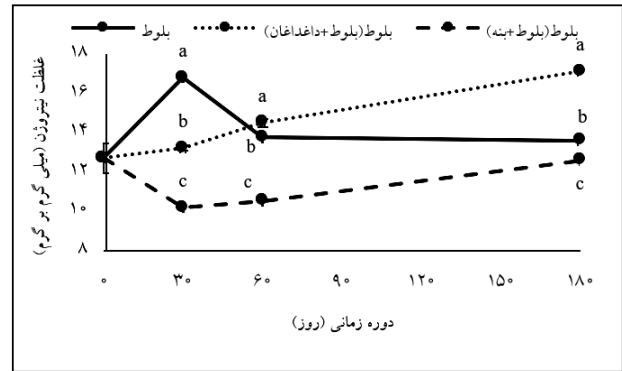
با لاشبرگ بنه بدست نیامد. به عبارت دیگر اثرات لاشبرگ‌های ضعیف در ترکیب به اندازه‌ای نبود که بتواند منافع تجزیه لاشبرگ‌های آمیخته را مختل کند.

بررسی اثرات غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها نشان داد که در پایان دوره انکوباسیون، تجزیه لاشبرگ‌های بلوط، داغداغان و بنه به ترتیب در ترکیب‌های (بلوط+داغداغان)، (داغداغان+بنه) و (بنه+بلوط) مثبت و از نوع هم‌افزایی بوده است. بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تعداد زیادی از لاشبرگ‌ها در حالت ترکیبی دارای اثرات غیرافزایشی مثبت بوده به طوری که مقادیر مشاهده شده در ترکیب بیشتر از حالت خالص است (۱۶). طبق

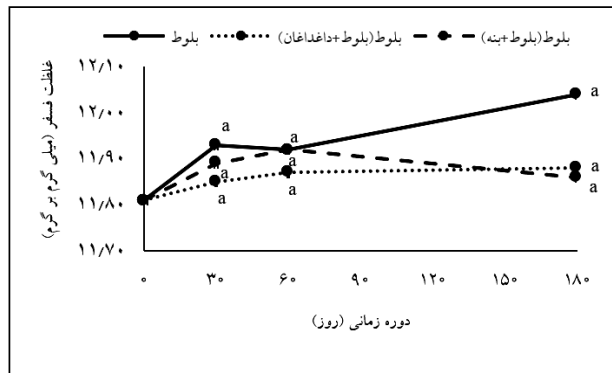




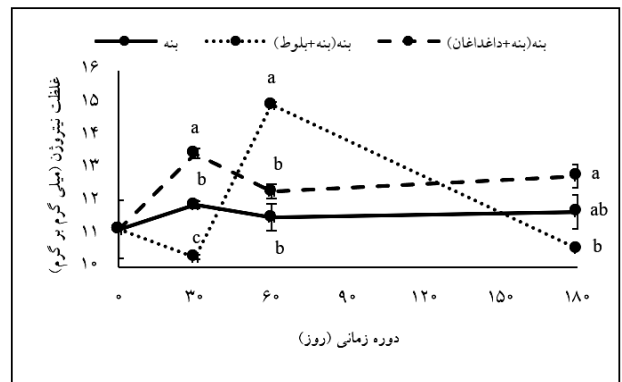
ب



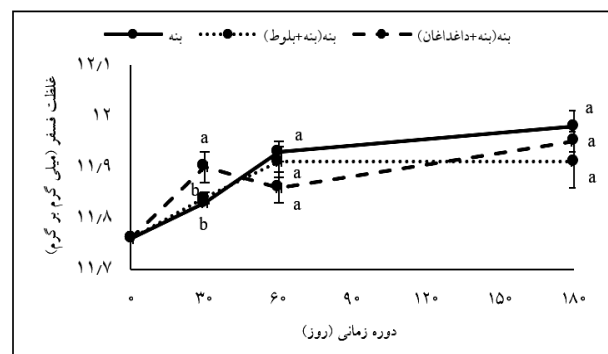
الف



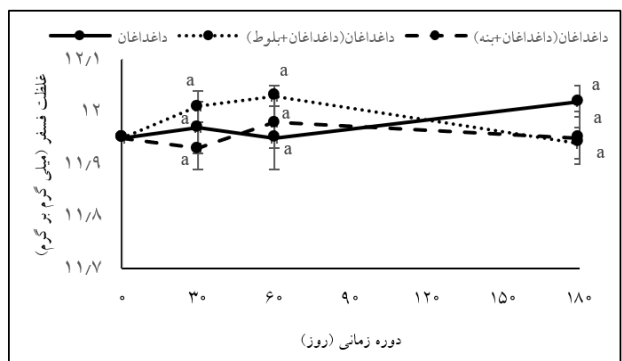
د



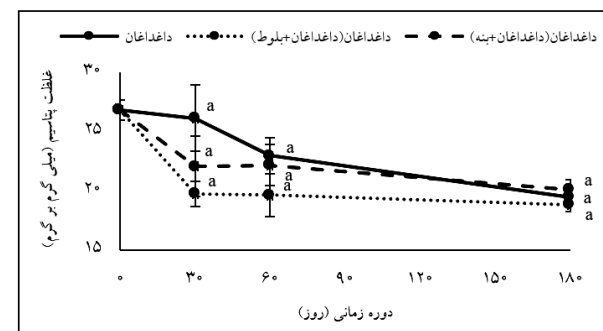
ج



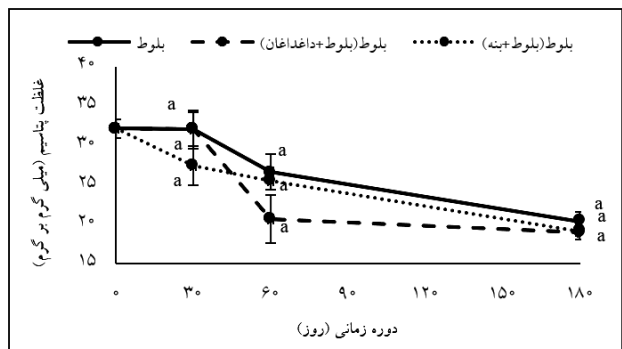
و



ه

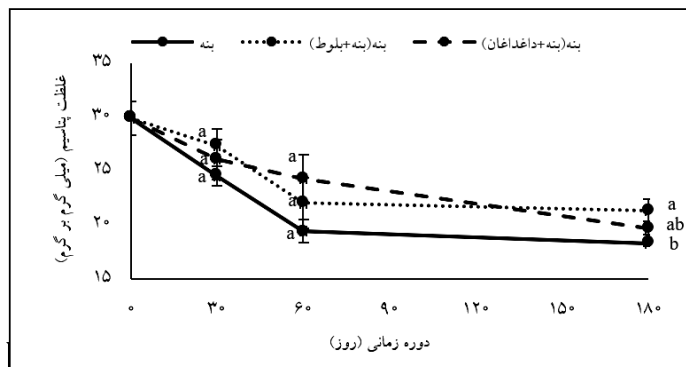


ح



ز

شکل ۴. پویایی عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) لاشبرگ‌ها در حالت‌های خالص و ترکیبی



ط

#### ادامه شکل ۴.

عصر فسفر دلالت بر رفتار متفاوت آن در رویشگاه‌ها و لاشبرگ‌های مختلف دارد (۱۷). در پژوهش حاضر کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها از لحاظ فسفر یکسان بوده (جدول ۱) و احتمالاً به همین دلیل جابجایی فسفر بین لاشبرگ‌های ترکیبی باعث ایجاد تغییرات معنی‌دار در غلظت فسفر لاشبرگ‌ها نشده است. به دلیل آشویی زیاد غلظت پتاسیم در طول فرایند تجزیه همواره کاهش می‌یابد (۳). پتاسیم برخلاف نیتروژن هیچ پیوندی با ترکیبات پیچیده آلی برقرار نمی‌کند. در پژوهش حاضر نیز آشویی زیاد پتاسیم در مورد همه لاشبرگ‌ها مشاهده شد (شکل ۴، ز، ح، ط). براساس یافته‌های این تحقیق فقط در لاشبرگ ترکیبی بنه با بلوط غلظت پتاسیم بیشتر از لاشبرگ خالص بنه بوده است. با بررسی مقادیر اولیه پتاسیم در لاشبرگ‌های مورد مطالعه مشخص شد که غلظت پتاسیم لاشبرگ بلوط بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده است لذا نقل و انتقال پتاسیم از لاشبرگ بلوط به بنه، که حاوی کمترین مقدار پتاسیم است، باعث افزایش غلظت پتاسیم لاشبرگ بنه در ترکیب شده است.

#### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثرات لاشبرگ‌های ترکیبی بلوط ایرانی، داغداغان و بنه بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها در جنگل‌های دره شهر استان ایلام بررسی شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که در پایان دوره انکوباسیون، تجزیه لاشبرگ‌های

براساس یافته‌های تحقیق حاضر مشخص شد که پویایی نیتروژن در هر دو حالت خالص و ترکیبی از الگوی عمومی پویایی نیتروژن در مرحله اول فرایند تجزیه پیروی کرده و روند افزایشی دارد (۱۲). مقادیر اولیه نیتروژن هر سه لاشبرگ مورد بررسی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری باهم نداشته (جدول ۱) لذا در وضعیت ترکیبی لاشبرگ‌ها تغییراتی در پویایی این عنصر مشاهده شد. به طوری که مقدار نیتروژن لاشبرگ بلوط در وضعیت ترکیبی با داغداغان بیشتر از حالت خالص آن بود (شکل ۴ الف). همچنین، این وضعیت در لاشبرگ‌های ترکیبی داغداغان و بنه نیز بدست آمده است (شکل‌های ۴ ب، ج). افزایش غلظت نیتروژن در لاشبرگ‌های در حال تجزیه به‌واسطه معدنی‌سازی کربن یا افزوده شدن از طریق منابع خارجی انجام می‌گیرد (۱۸). در لاشبرگ‌های با نسبت C:N بالا نیز میکروارگانیسم‌ها متوسل به نیتروژن خاک می‌شوند. در مطالعه حاضر لاشبرگ داغداغان با نسبت پایین C:N توانسته است مقدار نیتروژن لاشبرگ‌های بلوط و بنه را افزایش بدهد. مطابق با الگوی عمومی پویایی فسفر، این عنصر در طول فرایند تجزیه، پویایی مشابهی با نیتروژن دارد (۳). که این مساله در پویایی این عنصر در هر دو حالت خالص و آمیخته مشاهده شد. در مغایرت با یافته‌های قاسمی آقباش و همکاران (۱۷) و برگر و برگر (۵) ترکیب لاشبرگ‌ها اثرات معنی‌داری در پویایی فسفر نداشته‌اند (شکل‌های ۴ د، ه، و). در کل دیدگاه عمومی در مورد

نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی در طی مدت زمان یک ساله (مرحله اول فرایند تجزیه) و چند ساله (مرحله آخر فرایند تجزیه) مورد بررسی قرار بگیرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان از کارشناسان محترم آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان برای انجام آنالیزهای آزمایشگاهی پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌نمایند.

بلوط، داغداغان و بنه به ترتیب در ترکیب‌های (بلوط+داغداغان)، (داغداغان+بنه) و (بنه+بلوط) مثبت و از نوع هم‌افزایی بوده است. همچنین نتایج نشان داد که در پایان دوره انکوباسیون ۱۸۰ روزه غلظت نیتروژن در لاشبرگ بلوط ترکیبی با داغداغان در مقایسه با حالت بلوط خالص از مقدار بالایی برخوردار بوده است. براساس مطالعات گذشته مشخص شده است که بسیاری از نتایج در کوتاه مدت قابل تغییر است. بنابراین با توجه به محدودیت زمانی موجود در پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود به منظور حصول به نتایج کامل‌تر، اثرات لاشبرگ‌های ترکیبی بر

### منابع مورد استفاده

- Aerts, R. 2006. The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes. *Journal of Ecology* 94(4): 713-724.
- Barbe, L, C. Mony., V. Jung., M. Santonja., I. Bartish and A. Prinzing. 2018. Functionally or phylogenetically distinct neighbors turn antagonism among decomposing litter species into synergy. *Journal of Ecology* 106: 1401-1414.
- Berg, B., and C. McClaugherty. 2014. Plant litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration, third edition. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 315P.
- Berg, B., B. Erhagen., M.B. Johansson., M. Nilsson., J. Stendahl and F. Trum. 2015. Manganese in the litter fall-forest floor continuum of boreal and temperate pine and spruce forest ecosystems – a review. *Forest Ecology and Management* 358: 248-260.
- Berger, T and P. Berger. 2014. Does mixing of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) litter hasten decomposition? *Plant Soil* 377: 217-234.
- Beyranvand, M and F. Ghasemi Aghbash. 2020. Non-additive effects of European black pine (*Pinus nigra* Arnold) and tree of heaven (*Ailanthus altissima* Mill.) mixed leaf litters on decomposition and nutrient dynamics of leaf litters. *Forest and Wood Products* 73(3): 305-315. (In Persian).
- Bohara, M., R. Kailash., P. Yadav., W. Dong., J. Cao and CH. Hu. 2019. Nutrient and isotopic dynamics of litter decomposition from different land uses in naturally restoring Taihang mountain, North China. *Sustainability* 11: 1-19.
- Boyero, L., J. Pé rez., N. Ló pez-Rojo., A.M. Tonin., F. Correa-Araneda and R.G. Pearson. 2021. Latitude dictates plant diversity effects on instream decomposition. *Science Advances* 7(13): eabe7860.
- Bradford, M.A., B. Berg., D.S. Maynard., W.R. Wieder and S.A. Wood. 2016. Understanding the dominant controls on litter decomposition. *Journal of Ecology* 104: 229-238.
- Bremner, J. M and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. pp. 595-624, In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (ed.), American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Cassart, B., A.A. Basia., M. Jonard and Q. Ponette. 2020. Average leaf litter quality drives the decomposition of single-species, mixed-species and transplanted leaf litters for two contrasting tropical forest types in the Congo Basin (DRC). *Annals of Forest Science* 77:1-20.
- Cisse, M., S. Traore and B.A. Bationo. 2021. Decomposition and nutrient release from the mixed leaf litter of three agroforestry species in the Sudanian zone of West Africa. *SN Applied Sciences* 3:273.
- De Long, J. R., E. Dorrepaal., P. Kardol., M.C. Nilsson., L.M. Teuber and D.A. Wardle. 2016. Understorey plant functional groups and litter species identity are stronger drivers of litter decomposition than warming along a boreal forest post-fire successional gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 98: 159-170.
- Gao, J., F. Kang and H. Han. 2016. Effect of litter quality on leaf-litter decomposition in the context of home-field advantage and non-additive effects in temperate forests in China. *Polish Journal of Environmental Studies* 25(5): 1911-1920.
- Gartner, T. B and Z. G. Cardon. 2004. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos* 104: 230-246.

16. Ghasemi Aghbash, F and M. Beyranvand. 2021. Effect of litter quality and Home-Field advantage on leaf-litter decomposition of Tree of heaven and European black pine leaf-litters. *Iranian Journal of Forest* 13 (3): 319-332. (In Persian).
17. Ghasemi Aghbash, F., V. Hosseini and M. Poureza. 2016. Nutrient dynamics and early decomposition rates of *Picea abies* needles in combination with *Fagus orientalis* leaf litter in an exogenous ecosystem. *Annals of Forest Research* 59(1): 21-32.
18. Gnankambary, Z., J. Bayala., A. Malmer., G. Nyberg and V. Hien. 2008. Decomposition and nutrient release from mixed plant litters of contrasting quality in an agroforestry parkland in the south-Sudanese zone of West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82: 1-13.
19. He, W., Z. Ma., J. Pei., M. Teng., L. Zeng., Z. Yan., Z. Huang., Z. Zhou., P. Wang and X. Luo. 2019. Leaf litter decomposition in the Three Gorges Reservoir, China. *Forests* 10: 360.
20. Hoorens, B., M. Stroetenga and R. Aerts. 2010. Litter mixture interactions at the level of plant functional types are additive. *Ecosystems* 13: 90-98.
21. Issac, R.A and W.C. Johnson. 1975. Collaborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*. 58(3): 427-631.
22. Leroy, F., S. Gogo., A. Buttler., L. Bragazza and F. Laggoun-Défarge. 2018. Litter decomposition in peatlands is promoted by mixed plants. *Journal of Soils and Sediments* 18: 739-749.
23. Li, SH., Y. Tong and Zh. Wang. 2017. Species and genetic diversity affect leaf litter decomposition in subtropical broadleaved forest in southern Chin. *Journal of Plant Ecology* 10(1): 232-241.
24. Liao, S., X. Ni., W. Yang., H. Li., B. Wang., C. Fu., Z. Xu., B. Tan and F. Wu. 2016. Water, rather than temperature, dominantly impacts how soil fauna affect dissolved carbon and nitrogen release from fresh litter during early litter decomposition. *Forests* 7: 249.
25. Liu, J., X. Liu., Q. Song., Z. Compson., C.J. LeRoy., F. Luan., H. Wang., Y. Hu and Q. Yang. 2020. Synergistic effects: a common theme in mixed-species litter decomposition. *New Phytologist* 227(3): 757-765.
26. Mao, B., T. Cui., T. Su., Q. Xu., F. Lu., H. Su., J. Zhang and SH. Xiao. 2022. Mixed-litter effects of fresh leaf semi-decomposed litter and fine root on soil enzyme activity and microbial community in an evergreen broadleaf karst forest in southwest China. *Frontiers in Plant Science* 13: 1-15.
27. Montané, F., J. Romanya., P. Rovira and P. Casals. 2013. Mixtures with grass litter may hasten shrub litter decomposition after shrub encroachment into mountain grasslands. *Plant and Soil* 368: 459-469.
28. Nelson, D.W and L.E. Sommers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. pp. 961-1010, In: Sparks, D.L. (ed.), *Methods of Soil Analysis*, SSSA Book Series No. 5, Madison.
29. Olsen, S.R and L. dean. 1965. Phosphorus. pp. 1044-1047, In: Black, C.A. (ed), *methods of soil Analysis*, American Society of Agronomic, Maddison.
30. Tiunov. A.V. 2009. Particle size alters litter diversity effects on decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 176-178.
31. Versini, A., J. P. Laclau., L. Mareschal., C. Plassard., L.A. Diamesso., J. Ranger and B. Zeller. 2016. Nitrogen dynamics within and between decomposing leaves, bark and branches in Eucalyptus planted forests. *Soil Biology and Biochemistry* 101: 55-64.
32. Wardle, D.A., K.I. Bonner and G.M. Barker. 1997. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. *Oikos* 79: 247-258.
33. Zeng, L., W. He., M. Teng., X. Luo., ZH. Yan., ZH. Huang., ZH. Zhou., P. Wang and W. Xiao. 2018. Effects of mixed leaf litter from predominant afforestation tree species on decomposition rates in the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment* 639: 679-686.
34. Zhao, W., R.S.P.V. Logtestijn., J.R.V. Hal., M. Dong and J.H.C. Cornelissen. 2019. Non-additive effects of leaf and twig mixtures from different tree species on experimental litter-bed flammability. *Plant and Soil* 436: 311-324.

## Effects of Mixed Leaf Litters of Iranian Oak, Tree of Heaven, and Wild Pistachio on Decomposition and Dynamics of Nutrients in Zagros Forests (Case Study: Ilam Province)

S. Ramezani<sup>1</sup> and F. Ghasemi Aghbash<sup>2\*</sup>

(Received: October 07-2023; Accepted: February 06-2024)

### Abstract

Leaf litter decomposition plays a key role in the nutrient cycle of forest ecosystems. However, there is not a comprehensive understanding of the non-additive decomposition effects in leaf litter mixing experiments. In this study, the dynamics of nutrients and the rate of decomposition of Iranian oak (*Quercus brantii*), tree of heaven (*Celtis caucasica*), and wild pistachio (*Pistacia atlantica*) were investigated in both pure and mixed stands. For this purpose, 81 single- and double-litter bags were placed in the study area and incubated for 180 days. According to the results, at the end of the incubation period, the decomposition of oak litters in combination with tree of heaven, tree of heaven in combination with wild pistachio, and wild pistachio in combination with oak showed positive results. Based on the results, the nitrogen concentration in oak mixed with tree of heaven was higher than in its pure state. But the concentration of phosphorus in its pure and combined states did not show any significant differences. In general, the findings showed the positive non-additive effects of litter on its decomposition rate. Regarding the dynamics of nutrients, these effects were considered positive only for nitrogen.

**Keywords:** Leaf litter quality, non-additive effects, Iranian oak, litterbag, Zagros forests

- 
1. MSc. Student of Forestry, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
  2. Assist. Prof., Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: ghasemifarhad@yahoo.com