



تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در جنگل‌های زاگرس شمالی (پژوهش موردی: جنگل‌های منطقه چهارزبر کرمانشاه)

فرهاد قاسمی آقباش^{۱*} و مهرداد زرافشار^۲

^۱ استادیار، گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر
^۲ استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، فارس، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۴)

چکیده

بازگشت عناصر غذایی از طریق لاشبرگ، از مهم‌ترین مسیرهای چرخه عناصر غذایی و حفظ حاصلخیزی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی است. پویایی عناصر غذایی و تجزیه لاشبرگ در جنگل، بر قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی خاک تأثیر زیادی دارد. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی پویایی عناصر غذایی و تجزیه لاشبرگ بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) با استفاده از روش کیسه لاشبرگ به مدت ۳۶۰ روز در جنگل‌های منطقه چهارزبر کرمانشاه انجام گرفت. در این بررسی، کیسه لاشبرگ‌ها (با ابعاد ۳۰×۲۰ سانتی‌متر و روزنه ۲ میلی‌متر) با پنج تکرار و در فواصل زمانی ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ روز جمع‌آوری شد و اندازه‌گیری نرخ تجزیه و ترکیبات شیمیایی لاشبرگ‌ها مانند نیتروژن، کربن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و لیگنین انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که در سال اول تجزیه، ۴۵/۹۹ درصد ماده آلی لاشبرگ از دست رفت و نرخ ثابت تجزیه، ۰/۴۰۲ درصد در روز به دست آمد و مشخص شد که حد نهایی تجزیه آن ۶۸/۳۴ درصد است. پویایی عناصر غذایی بررسی شده از الگوهای عمومی پیروی کرد و مقادیر آنها در لاشبرگ تحت بررسی به صورت $0/27 \pm$ (۲/۵۵ میلی‌گرم در گرم) $>K$ ($0/15 \pm$ ۲/۷۳ میلی‌گرم در گرم) $>Mg$ ($0/36 \pm$ ۱۱/۷۶ میلی‌گرم در گرم) $>P$ ($0/93 \pm$ ۲۵/۱۶ میلی‌گرم در گرم) $>N$ ($0/37 \pm$ ۴۸/۵۸ میلی‌گرم در گرم) ثابت شد. براساس نتایج مشخص شد که آزادسازی نیتروژن تا ۱۸۰ روز روند منفی داشت و پس از آن تا پایان دوره مثبت بود. براساس نتایج رگرسیون گام‌به‌گام، متغیرهای نسبت C/P و نیتروژن در مدل وارد شدند و توانستند ۸۵/۸ درصد نرخ تجزیه لاشبرگ را پیش‌بینی کنند. در کل نتایج تحقیق نشان داد که بلوط ایرانی خاصیت اصلاح‌کنندگی متوسط نیتروژن خاک را دارد و برای تولید هوموس چندان قابلیت ندارد.

واژه‌های کلیدی: لیگنین، ماده ازدست‌رفته، معدنی‌سازی عناصر، نیتروژن.

مقدمه

زیادی ناشی از پویایی عناصر غذایی و تجزیه لاشبرگ در جنگل است. بازگشت عناصر غذایی به فرایند تجزیه بستگی دارد که در مقیاس جهانی به وسیله اقلیم و عرض جغرافیایی (Liu et al., 2006) و در

در اکوسیستم‌های جنگلی، تجزیه لاشبرگ مهم‌ترین راه ورود عناصر غذایی به خاک بوده و قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی خاک، تا حد

رویشی هیرکانی بوده و در غرب کشور مطالعات چندانی انجام نگرفته است. با بررسی عوامل مختلف تأثیرگذار بر نرخ تجزیه لاشبرگ تحت گونه‌های درختی تثبیت‌کننده و غیرتثبیت‌کننده نیتروژن در جنگلکاری‌های دشت‌های سیلابی جنوب غرب ایران Sayad et al. (2015) گزارش دادند که در درختان تثبیت‌کننده نیتروژن، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مقدار تجزیه عبارت‌اند از غلظت‌های اولیه نیتروژن، فسفر، نسبت‌های کیفی C/N و C/P؛ درحالی که در درختان غیرتثبیت‌کننده فقط غلظت کلسیم مهم است. براساس پژوهش Ghasemi Aghbash et al. (2016) در خصوص کیفیت لاشبرگ بلوط وی‌ول (*Quercus libani*) و مقدار تجزیه لاشبرگ آن در مرحله اول فرایند تجزیه در جنگل‌های هواره خول بانه، مشخص شد که مقدار تجزیه لاشبرگ با کیفیت اولیه لاشبرگ و همچنین نسبت‌های کیفی C/N و C/P ارتباط معنی‌داری ندارد، ولی الگوی پویایی عناصر غذایی لاشبرگ مانند نیتروژن و فسفر مطابق الگوی عمومی است. در پژوهش Pato et al. (2017) که با هدف بررسی مقادیر کربن موجود در زی‌توده کاربری‌های مختلف در جنگل‌های زاگرس شمالی (استان آذربایجان غربی) انجام پذیرفت، مشخص شد که مقدار کربن لاشبرگ در کاربری‌های بکر و باغی به ترتیب بیشترین و کمترین است و وزن لاشبرگ تولیدی کاربری‌های مختلف اختلاف معنی‌داری دارند. بررسی پویایی عناصر غذایی نیتروژن و فسفر و همچنین نرخ تجزیه لاشبرگ بلوط مغولی (*Quercus mongolica*) در طول ۲۴ ماه دوره بررسی نشان داد که غلظت‌های نیتروژن و فسفر به ترتیب تا ۱۸ و ۱۴ ماه بعد از دوره تحقیق افزایش یافته و سپس حالت نزولی می‌یابد. همچنین براساس نتایج تحقیق، نرخ ثابت تجزیه لاشبرگ بلوط مغولی ۰/۴۶ به‌دست آمد (Sohng et al., 2014).

در منطقه رویشی زاگرس، تحقیقات چندانی در خصوص تجزیه لاشبرگ گونه‌های درختی، به‌ویژه

مقیاس منطقه‌ای در درجه حرارت و بارندگی یکسان، به مشخصه‌های اکولوژیکی و فیزیولوژیکی گونه‌های درختی، حاصلخیزی^۱ رویشگاه و عوامل فیزیوگرافیکی وابسته است (Kara et al., 2014). ترکیبات اولیه لاشبرگ مانند عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم)، غلظت لیگنین و نسبت‌های C/P و C/N از موارد کیفیت لاشبرگ شناخته شده‌اند. متغیرهای اقلیمی مانند متوسط درجه حرارت سالیانه، متوسط بارندگی سالیانه و تبخیر و تعرق واقعی عوامل اصلی تنظیم‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ هستند (Berg & McClaugherty, 2008). در کف جنگل، لاشبرگ کارکردهای اکولوژیکی مهمی را میسر می‌کند و بر ترکیب عناصر غذایی درونی درختان تأثیر می‌گذارد. در خصوص پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌های در حال تجزیه، سه الگوی اصلی وجود دارد. غلظت برخی از عناصر مانند نیتروژن و فسفر در طول زمان افزایش پیدا می‌کند، درحالی که غلظت برخی از عناصر مانند پتاسیم به شدت کاهش می‌یابد. برخی از عناصر نیز مانند منگنز از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند، به طوری که یا به شدت نگهداری می‌شوند یا به راحتی به طرف ترکیب لاشبرگ - میکروارگانیسیم حرکت می‌کنند (Berg & McClaugherty, 2008). با نزدیک شدن به مراحل آخر تجزیه، تأثیر لیگنین بر تأثیر و برتری عناصر غذایی غلبه می‌کند و در نتیجه تجزیه لاشبرگ را تحت شعاع خود قرار می‌دهد و همزمان، تجزیه نیز کاهش می‌یابد و ماده آلی از دست‌رفته تجمعی به حد نهایی خود نزدیک می‌شود (Berg et al., 2010). در واقع حد نهایی تجزیه، نشان‌دهنده پتانسیل لاشبرگ‌ها در تبدیل شدن به هوموس است. لاشبرگ با حد نهایی زیاد از قابلیت کمتری برای تبدیل شدن به هوموس برخوردار است.

بیشتر پژوهش‌های داخلی در زمینه تجزیه لاشبرگ و پویایی عناصر غذایی آن، مربوط به منطقه

^۱ Fertility

براساس روش دومارتن اقلیم منطقه نیمه خشک است. بافت خاک منطقه سیلت-رسی و pH خاک قلیایی است و براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی جزء گروه Fine, Mixed, Thermic Vertic Calcixerepts از ردهٔ اینسپتی سول‌ها طبقه‌بندی شده است. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های جامعه‌شناختی، یک جامعه Astragalo tortousi - Quercetum persica و دو زیرجامعه گیاهی Acantholimonum blakelockii- Tournefortii gundelietosum و festucetosum ovinae را در منطقه نشان می‌دهد (Heidarian et al., 2015).

روش پژوهش

قبل از فصل خزان، پنج منطقه به‌طور انتخابی برای جمع‌آوری لاشبرگ‌های گونه بلوط ایرانی مشخص شدند. در پاییز سال ۱۳۹۵ لاشبرگ‌ها از پنج منطقه انتخابی و از همهٔ جهات تاج درختان جمع‌آوری شده و در کیسهٔ پلاستیک قرار داده شدند؛ سپس بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شدند. در این بررسی برای بررسی تجزیهٔ لاشبرگ‌ها از روش کیسه‌لاشبرگ استفاده شد (Berg & McClaugherty, 2008). در این روش لاشبرگ‌های جمع‌آوری شده در داخل کیسه‌های نایلونی با ابعاد ۳۰×۲۰ سانتی‌متر و روزنهٔ ۲ میلی‌متر قرار داده شده و برای بررسی پویایی تجزیه و عناصر غذایی لاشبرگ‌ها در مناطقی قرار داده شدند که قبلاً نمونهٔ لاشبرگ‌ها از آنها جمع‌آوری شده بود. با توجه به مدت دورهٔ بررسی (۳۶۰ روز) و دوره‌های زمانی برداشت کیسه‌لاشبرگ‌ها (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۶۰)، ۲۵ عدد کیسه‌لاشبرگ آماده شد. در هر کیسه‌لاشبرگ در حدود ۱۰ گرم لاشبرگ خشک شده در فضای آزمایشگاه قرار داده شد. برای ارزیابی رطوبت و کیفیت اولیهٔ لاشبرگ‌ها در حدود ۵ گرم نمونهٔ لاشبرگ انتخاب و به مدت ۲۴ ساعت در آن ۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد

بلوط ایرانی که مهم‌ترین و فراوان‌ترین گونهٔ درختی در اقلیم رویشی زاگرس محسوب می‌شود (Khodagholi et al., 2016)، انجام نگرفته است و از طرفی این جنگل‌ها در بیشتر مناطق با فقر مادهٔ آلی خاک و بازگشت ناکافی مادهٔ آلی (لاشبرگ‌ها) به خاک مواجه‌اند. ارزیابی پویایی عناصر غذایی و تجزیهٔ لاشبرگ به دلیل دستیابی به درک بهتر عامل‌های مؤثر بر تجزیهٔ لاشبرگ‌ها، به‌منظور مدیریت بهینهٔ جنگل و افزایش اطلاعات در خصوص وضعیت عناصر غذایی خاک و لاشبرگ بسیار حائز اهمیت است. چنین تحقیقاتی وضعیت عناصر غذایی لاشبرگ را مشخص می‌کند و می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار مدیران جنگل قرار دهد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی پویایی عناصر غذایی و تجزیهٔ لاشبرگ بلوط ایرانی و مشخص شدن الگوی پویایی عناصر غذایی و فرایند تجزیهٔ لاشبرگ در طول مدت بررسی صورت گرفت. در این تحقیق فرض شد: ۱. پویایی عناصر غذایی لاشبرگ بلوط ایرانی از الگوهای عمومی موجود پیروی می‌کند؛ ۲. غلظت‌های اولیهٔ لاشبرگ مانند نیتروژن، کلسیم و لیگنین تأثیر متفاوتی در حد نهایی تجزیهٔ لاشبرگ بلوط ایرانی دارند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش با مختصات جغرافیایی ۳۴°۴۱'۱۶" طول شرقی و ۱۳۱°۵۰'۴۱" عرض شمالی در جنگل‌های منطقهٔ چهارزبر از توابع بخش ماهیدشت در ۳۴ کیلومتری جنوب غربی شهرستان کرمانشاه و در رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته است. کمترین و بیشترین ارتفاع آن ۱۴۰۰ و ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریاست. براساس آمار و اطلاعات سی‌ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۶) ایستگاه هواشناسی کرمانشاه که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقهٔ تحقیق است، میانگین بارندگی سالیانه، ۴۱/۴۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه، ۱۴/۳۹ درجهٔ سانتی‌گراد است.

رابطه ۳ $LH = (100 - \text{Limit Value}) / 100$

LH: عامل لاشبرگ به هوموس (Berg et al., 2010).
با استفاده از رابطه ۴ مقدار آزادسازی عناصر غذایی محاسبه شد.

رابطه ۴ $R (\%) = [W_0C_0 - W_tC_t / W_0C_0] \times 100$

W_0 : وزن خشک اولیه، W_t : وزن خشک باقی مانده،
 C_0 : غلظت عناصر غذایی (میلی گرم در گرم) در
لاشبرگ اولیه، C_t : غلظت عناصر غذایی (میلی گرم در
گرم) بعد از جمع آوری است (Guo & Sims, 1999).

روش تحلیل

توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی و تأیید شد. مقایسه غلظت عناصر غذایی، درصد آزادسازی نیتروژن، تجزیه لیگنین و ماده آلی ازدست‌رفته لاشبرگ در طول مدت زمان بررسی با به‌کارگیری آزمون Repeated measures ANOVA (MANOVA) انجام گرفت. مقایسه مقادیر عناصر غذایی لاشبرگ در پایان مدت زمان بررسی از طریق آنالیز واریانس یکطرفه برای مقایسه‌های کلی و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها انجام پذیرفت. برای بررسی همبستگی بین حد نهایی تجزیه و غلظت‌های عناصر غذایی و همچنین ارتباط بین ماده آلی ازدست‌رفته با آزادسازی نیتروژن و تخریب لیگنین از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. برای دستیابی به بهترین ترکیب از خصوصیات شیمیایی لاشبرگ به‌منظور پیش‌بینی ماده آلی ازدست‌رفته، به‌عنوان متغیر وابسته، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. همه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 22 انجام گرفت.

نتایج

کیفیت اولیه لاشبرگ

نتایج بررسی کیفیت اولیه لاشبرگ نشان داد که از نظر غلظت، نیتروژن در گروه متوسط قرار گرفت.

(Berg & McClaugherty, 2008). برداشت کیسه لاشبرگ‌ها در فواصل زمانی ۶۰ روز انجام گرفت. کیسه لاشبرگ‌ها بلافاصله بعد از جمع‌آوری در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند؛ سپس در آن ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. براساس روابط وزنی (Ghasemi Aghbash et al., 2016) وزن ازدست‌رفته لاشبرگ‌ها محاسبه شد. آزمایش‌های شیمیایی برای تعیین عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کربن، کلسیم، منیزیم و همچنین لیگنین کلاسون (بقایای اسیدی غیرهیدرولیزه (AUR)) در پنج تکرار روی هر نمونه لاشبرگ انجام گرفت. نیتروژن به روش کج‌جدال و فسفر به روش اولسن و دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. پتاسیم، کلسیم و منیزیم لاشبرگ‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی اتمی و دستگاه طیف‌سنج اتمی و لیگنین لاشبرگ نیز از طریق روش کلاسون و در دو مرحله هضم در اسید سولفوریک ۷۲ درصد اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه مقدار کربن لاشبرگ نیز از روش احتراق استفاده شد. محاسبه نرخ تجزیه لاشبرگ با استفاده از رابطه اصلی نمایی منفی ساده تجزیه انجام گرفت.

رابطه ۱ $M_t = M_0 \cdot e^{-kt}$

M_0 : وزن اولیه لاشبرگ، M_t : وزن باقی‌مانده بعد از گذشت t ، t : مدت زمان تجزیه، k : نرخ ثابت تجزیه است.

حد نهایی تجزیه لاشبرگ و همچنین ظرفیت بالقوه برای هوموسی شدن از طریق رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شدند.

رابطه ۲ $L = m (1 - e^{-kt/m})$

L : ماده آلی ازدست‌رفته در مدت زمان t ، m : حد نهایی تجزیه، t : مدت زمان تجزیه، k : نرخ ثابت تجزیه است (Berg et al., 2010).

غلظت عناصر غذایی لاشبرگ به صورت $Ca > N > K > P > Mg$ بود (جدول ۱).

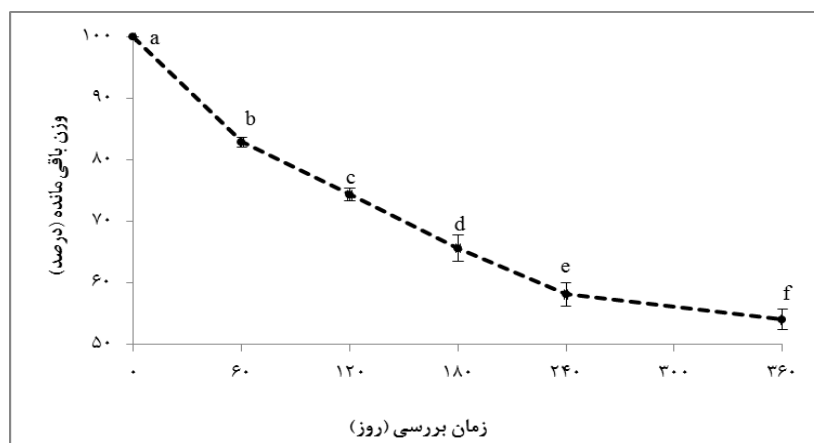
جدول ۱- کیفیت اولیه لاشبرگ (میانگین \pm اشتباه معیار) ($mg \cdot g^{-1}$)

عناصر	کیفیت اولیه لاشبرگ
نیتروژن	$12/22 \pm 0/52$
فسفر	$3/61 \pm 0/27$
پتاسیم	$9/76 \pm 0/27$
کربن	$497/48 \pm 0/83$
کلسیم	$29/44 \pm 1/53$
منیزیم	$3/12 \pm 0/06$
لیگنین	$271/9 \pm 0/53$
C/N	$40/71 \pm 0/32$
C/P	$141/07 \pm 1/02$
AUR/N	$22/25 \pm 0/52$

روند مشابهی داشت و $58/14$ درصد وزن لاشبرگ باقی ماند و بعد از آن روند تجزیه با سرعت کمتری ادامه داشت (شکل ۱).

وزن ازدست رفته لاشبرگ، نرخ ثابت تجزیه و حد نهایی آن

نتایج نشان داد که درصد وزن باقی مانده لاشبرگ در طی زمان کاهش می یابد. روند کاهش وزن لاشبرگ بعد از گذشت ۲۴۰ روز از مدت زمان بررسی



شکل ۱- درصد وزن باقی مانده لاشبرگ بلوط ایرانی

جدول ۲- نرخ ثابت تجزیه، حد نهایی تجزیه و ظرفیت بالقوه هوموسی شدن لاشبرگ (میانگین \pm اشتباه معیار)

نرخ ثابت تجزیه (درصد در روز)	حد نهایی تجزیه (درصد)	ظرفیت بالقوه هوموسی شدن (بخش)	لاشبرگ
$0/40 \pm 0/09$	$68/34 \pm 2/23$	$31/66 \pm 0/02$	بلوط ایرانی

روابط بین حد نهایی تجزیه و غلظت‌های عناصر غذایی

به‌طور عمومی فرض بر این است که بین غلظت‌های زیاد نیتروژن و حد نهایی تجزیه ارتباط خطی منفی وجود دارد. وضعیت لیگنین نیز مشابه

نیتروژن است. ولی این وضعیت در خصوص کلسیم کاملاً متفاوت است. بنابراین در رویشگاه یادشده نیز این مسئله بررسی شد (جدول ۳).

جدول ۳- همبستگی‌های بین حد نهایی تجزیه و غلظت‌های اولیه نیتروژن، کلسیم و لیگنین در لاشبرگ بلوط ایرانی

عناصر	R	n	$P < 0.05$
نیتروژن	-۰/۸۰	۲۵	0.05
کلسیم	۰/۷۸	۲۵	0.05
لیگنین	-۰/۸۱	۲۵	0.05

بین غلظت‌های اولیه نیتروژن و لیگنین با حد نهایی تجزیه، ارتباط خطی منفی در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد (ضریب همبستگی به‌ترتیب -۰/۸۰ و -۰/۸۱). غلظت کلسیم نیز با حد نهایی تجزیه ارتباط خطی مثبت در سطح ۹۵ درصد داشت ($R=0.78$) (جدول ۳).

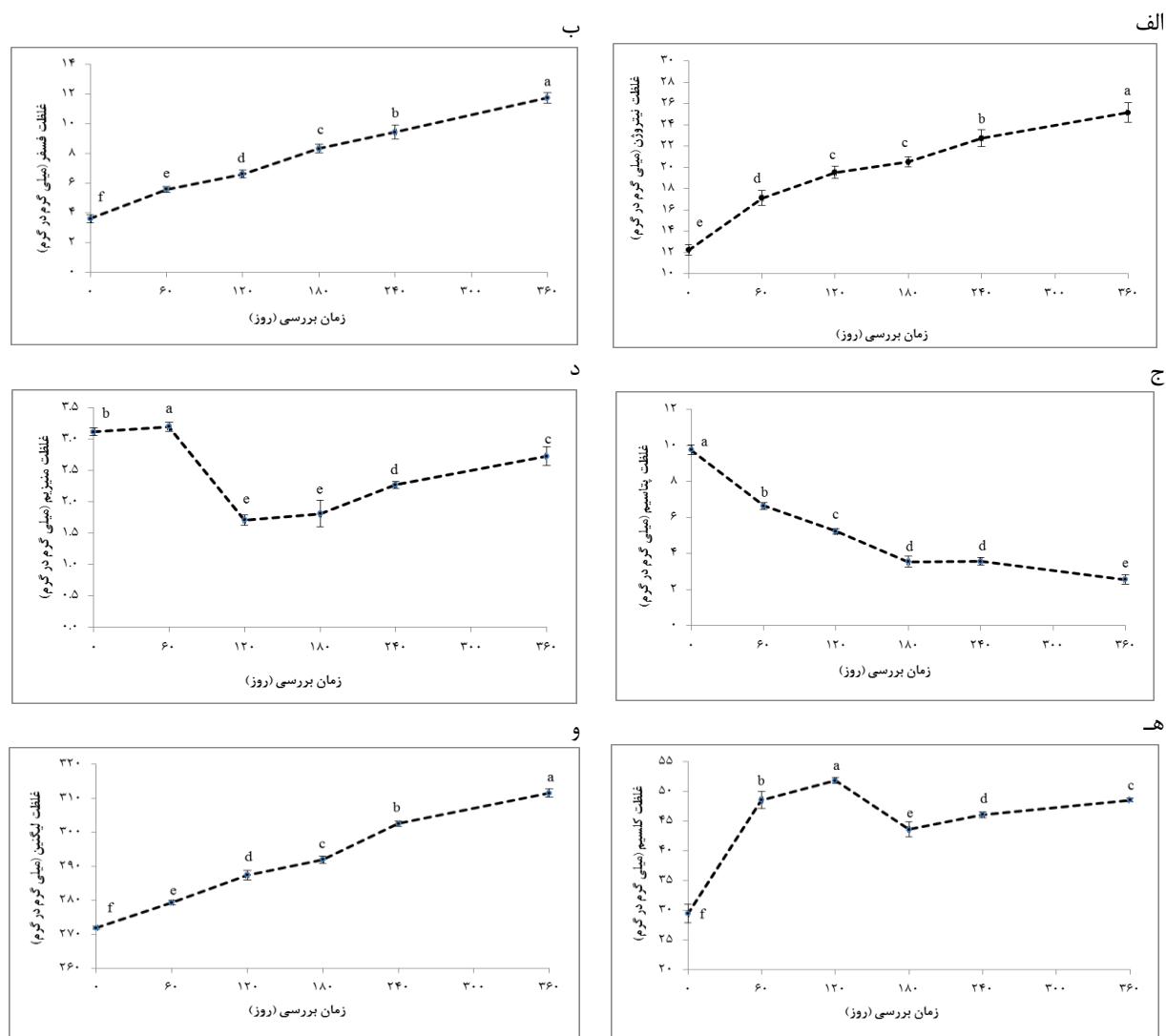
درصد مشاهده شد (شکل ۲ ج). غلظت منیزیم تا ۶۰ روز اول بررسی روند افزایشی داشت و سپس تا روز ۱۲۰ روند کاهشی پیدا کرد. افزایش مجدد غلظت آن از روز ۱۲۰ شروع و تا پایان دوره ادامه دارد. فقط بین مقادیر غلظت منیزیم در روزهای ۱۲۰ و ۱۸۰ اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) مشاهده نشد (شکل ۲ د). غلظت کلسیم در ابتدا افزایش یافت و در روز ۱۲۰ به بیشترین مقدار خود رسید؛ سپس روند کاهشی پیدا کرد و از روز ۱۸۰، از نو روند افزایشی یافت؛ این روند تا پایان دوره بررسی ادامه داشت. مقادیر غلظت کلسیم در همه روزهای بررسی اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) را نشان داد (شکل ۲ ه). غلظت لیگنین در اثر واکنش‌هایی که بین آن و نیتروژن در طول مدت تجزیه رخ داد، روند افزایشی داشت و در پایان دوره بررسی به بیشترین غلظت رسید. غلظت لیگنین در همه روزهای بررسی اختلاف معنی‌داری را در سطح ۹۵ درصد نشان داد (شکل ۲ و).

غلظت عناصر غذایی لاشبرگ در طول مدت تجزیه
نتایج آزمون اندازه‌های مکرر نشان داد که غلظت نیتروژن در طی مدت تجزیه افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین مقدار آن در انتهای مدت زمان بررسی مشاهده شد. مقادیر غلظت نیتروژن بین روزهای ۱۲۰ و ۱۸۰ اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) را نشان نداد (شکل ۲ الف). غلظت فسفر نیز روند افزایشی داشت، به‌طوری که در پایان دوره به بیشترین مقدار خود رسید. در زمان‌های مختلف بررسی مقادیر غلظت فسفر اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) را نشان داد (شکل ۲ ب). آبشویی لاشبرگ سبب کاهش غلظت پتاسیم در طول مدت زمان بررسی شد، به‌طوری که کمترین مقدار آن در پایان دوره بررسی مشاهده شد. به غیر از روزهای ۱۸۰ و ۲۴۰ که با هم اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) نداشتند، در بقیه روزها از لحاظ غلظت این عنصر اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵

مقادیر عناصر غذایی لاشبرگ در پایان مدت

بررسی

براساس نتایج مشخص شد که مقادیر عناصر غذایی لاشبرگ بلوط ایرانی بعد از گذشت یک سال از دوره بررسی به‌صورت $\text{Ca} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{K}$ بود (جدول ۴).



شکل ۲- پویایی غلظت نیتروژن (الف)، فسفر (ب)، پتاسیم (ج)، منیزیم (د)، کلسیم (هـ) و لیگنین (و)

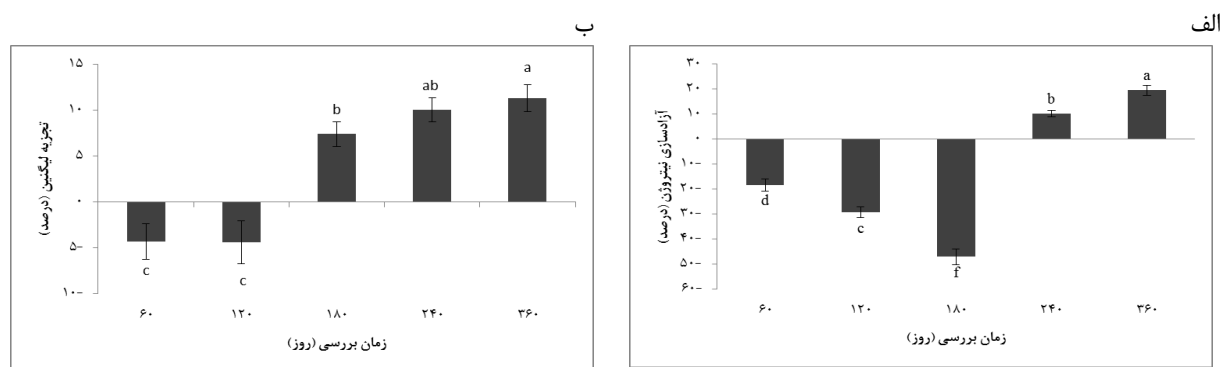
جدول ۴- مقادیر عناصر غذایی لاشبرگ در پایان مدت بررسی (میانگین ± اشتباه معیار) ($mg.g^{-1}$)

عناصر	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
غلظت	25/16 ± 0/93 b	11/76 ± 0/36 c	2/55 ± 0/27 d	48/58 ± 0/37 a	2/73 ± 0/15 d

اعداد با حروف متفاوت در سطر، اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند.

۱۹/۵۴ درصد رسید (شکل ۳ الف). تا ۱۲۰ روز اول فرایند تجزیه، تخریب لیگنین مشاهده نشد. نرخ تجزیه لیگنین از روز ۱۸۰ تا پایان دوره بررسی افزایش یافت. بین تجزیه لیگنین در روز ۱۸۰ و ۳۶۰ اختلاف معنی داری ($p < 0/05$) مشاهده شد (شکل ۳ ب).

آزادسازی نیتروژن و تجزیه لیگنین و ارتباط آنها با نرخ تجزیه لاشبرگ
نیتروژن تا روز ۱۸۰ تثبیت شد و بیشترین مقدار نیتروژن تثبیت شده نیز در همین روز بود (۴۷/۰۳ درصد)؛ اما از روز ۲۴۰ تا پایان مدت بررسی، روند آزادسازی نیتروژن مثبت شد و در انتهای بررسی به



شکل ۳- درصد آزادسازی نیتروژن (الف) و تجزیه لیگنین (ب)

مثبت معنی داری ($p < 0.05$) مشاهده شد (جدول ۵).

در منطقه تحقیق، بین آزادسازی نیتروژن و تخریب لیگنین با نرخ تجزیه لاشبرگ همبستگی

جدول ۵- ضرایب همبستگی برای ارتباطات خطی بین ماده آلی از دست رفته و مقادیر آزادسازی نیتروژن و تخریب لیگنین

$p < 0.05$	n	R	
0.05	۲۵	۰/۸۴	نیتروژن
0.05	۲۵	۰/۸۲	لیگنین

(جدول ۶).

بنابراین معادله رگرسیونی به صورت زیر است:

$$Y = 73.941 + 0.595 X_1 - 0.372 X_2$$

$Y =$ ماده آلی از دست رفته (درصد)، $X_1 =$ نسبت

$X_2 =$ نیتروژن، C/P

بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام مشخص شد که از بین ترکیبات شیمیایی اولیه لاشبرگ (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، لیگنین، نسبت های C/N، C/P و AUR:N) در گام اول نسبت C/P و در گام دوم نیتروژن در مدل وارد شد. این دو متغیر توانستند ۸۵/۸ درصد واریانس تجزیه را توصیف کنند

جدول ۶- اطلاعات رگرسیون گام به گام متغیر تابع (درصد ماده آلی از دست رفته) و متغیرهای توصیف کننده

متغیر وابسته	مدل	میانگین مجذور میانگین مجذور رگرسیون	درجه آزادی باقی مانده	درجه آزادی رگرسیون	میانگین مجذور میانگین مجذور رگرسیون	معنی داری
ماده آلی از دست رفته	نسبت C/P	۰/۸۳	۱	۲۳	۲۵۱۹/۴۱	۰/۰۰۰
(درصد)	نیتروژن	۰/۸۶			۱۳۱۶/۹۴	۰/۰۰۰

بحث

براساس نتایج تحقیق، لاشبرگ بلوط ایرانی از لحاظ غلظت اولیه نیتروژن (۱/۲۲ درصد) جزء گونه‌های درختی با اصلاح‌کنندگی متوسط خاک محسوب می‌شود. همسو با نتایج Ghasemi Aghbash et al. (2016). در تحقیق حاضر نیز غلظت کلسیم از عناصر دیگر بیشتر بود. کلسیم در دیواره سلولی به صورت پکتات کلسیم مشاهده می‌شود و افزایش غلظت آن در لاشبرگ به واسطه تثبیت میکروبی اتفاق می‌افتد. در مرحله اولیه فرایند تجزیه، ترکیب شیمیایی لاشبرگ و اقلیم محرک‌های اصلی تجزیه هستند، به طوری که تجزیه لاشبرگ برخلاف مرحله آخر و مرحله هوموس سریع‌تر انجام می‌گیرد (Aponte et al., 2012). در بررسی حاضر درصد وزن باقی‌مانده لاشبرگ بعد از گذشت ۱۲ ماه از دوره بررسی ۵۴/۰۱ درصد بود. در تحقیقی Ghasemi Aghbash et al. (2016) مقدار وزن باقی‌مانده لاشبرگ بلوط وی‌ول (*Quercus libani*) را در مدت شش ماه از زمان بررسی در جنگل‌های منطقه بانه، که از نظر اقلیم مشابه منطقه تحقیق است، ۶۹/۶ درصد گزارش کردند، در حالی که Sohng et al. (2014) با بررسی نرخ تجزیه لاشبرگ *Quercus mongolica* در منطقه Taehwa کره جنوبی با اقلیم بسیار مرطوب، مقدار وزن باقی‌مانده را در ۲۴ ماه بررسی ۴۱-۴۷ درصد به دست آورده بودند. به عنوان یک نکته شایان تأمل می‌توان گفت در سال دوم فرایند نقش اقلیم کم‌رنگ می‌شود و عوامل دیگری مثل غلظت‌های لیگنین، منگنز، نیتروژن و کلسیم، کنترل‌کننده اصلی فرایند تجزیه هستند (Berg & McClaugherty, 2008). بین غلظت‌های اولیه عناصر غذایی و لیگنین با حد نهایی تجزیه ارتباط معنی‌داری وجود دارد (Berg et al., 2010). غلظت‌های نیتروژن و لیگنین ارتباط معنی‌داری در سطوح بالا و به طور منفی با حد نهایی تجزیه دارند. در تحقیق حاضر نیز چنین رابطه‌هایی بین غلظت‌های

نیتروژن، کلسیم و لیگنین با حد نهایی تجزیه مشاهده شد. براساس یافته‌های تحقیق غلظت نیتروژن با حد نهایی تجزیه همبستگی مثبت داشت. در لاشبرگ‌های غنی از نیتروژن، محدود شدن ماده آلی از دست‌رفته زودتر اتفاق می‌افتد و به عبارتی لاشبرگ کمتری تجزیه می‌شود (Berg et al., 2010). مانند نیتروژن غلظت لیگنین نیز رابطه مثبتی با حد نهایی تجزیه داشت. براساس نظر Piccolo et al. (1999) مقدار لاشبرگ باقی‌مانده در مرحله نزدیک به هوموس توسط بقایای لیگنین، که در برابر تجزیه مقاوم‌اند، تنظیم می‌شود در واقع واکنش این بقایا با مولکول‌های نیتروژن در لاشبرگ‌های غنی، ترکیباتی را پدید می‌آورد که در به تأخیر انداختن تجزیه تأثیر بسزایی دارند. همسو با نتایج تحقیق حاضر، Berg et al. (2010) نیز همبستگی معنی‌دار و مثبتی را بین حد نهایی تجزیه و غلظت کلسیم در سوزن‌های نوئل گزارش دادند این همبستگی توسط Davey et al. (2007) نیز در مورد لاشبرگ بلوط گزارش شد. کلسیم عنصری است که رویش گونه‌های قارچی عامل پوسیدگی سفید را پشتیبانی می‌کند (Berg et al., 2010). به طور کلی غلظت‌های زیاد کلسیم، تجمع هوموس را کاهش می‌دهد که در پی آن حد نهایی تجزیه لاشبرگ‌ها افزایش می‌یابد (Berg & McClaugherty, 2008). الگوی تغییر در غلظت‌های عناصر غذایی و لیگنین در طول فرایند تجزیه در لاشبرگ بررسی شده، مشابه الگوی عمومی ارائه شده توسط Laskowski et al. (1995) بود. این الگو در خصوص آزادسازی عناصر غذایی از لاشبرگ‌های در حال تجزیه در اکوسیستم‌های جنگلی معتدله ارائه شده بود. افزایش غلظت نیتروژن در اثر تثبیت میکروبی رخ می‌دهد (Ghasemi Aghbash et al., 2016)؛ نتایج مربوط به آزادسازی این عنصر در طی سال اول تجزیه این مسئله را تأیید می‌کند. همسو با یافته‌های دیگر محققان (Ball et al., 2009; Maisto et al., 2011)

دارد (Berg & McClaugherty, 2008; Pandey et al., 2007). در تحقیق حاضر، مقدار آزادسازی نیتروژن در پایان دوره به بیشترین حد خود رسید که در این زمان تجزیه لیگنین نیز بیشتر از بقیه روزها بود. این نتایج نشان می‌دهد که لاشبرگ بلوط در آستانه وارد شدن به مرحله آخر فرایند است که در آن، تأثیر نیتروژن و لیگنین در تجزیه لاشبرگ منفی شده و شرایط برای مرحله هوموس مهیا می‌شود. مطابق با یافته‌های دیگر محققان (Han et al., 2015; Kaspari & Yanoviak, 2008)، نتایج رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که متغیرهای نسبت C/P و غلظت نیتروژن به ترتیب در گام‌های اول و دوم توصیف‌کننده‌های بهتر نرخ تجزیه لاشبرگ بلوط هستند. از کربن، نیتروژن و فسفر، به‌عنوان سه عنصر اصلی مؤثر در فرایند تجزیه و کارکردهای اکوسیستم، می‌توان در پیش‌بینی نرخ تجزیه استفاده کرد. فعالیت میکروبی افق آلی خاک با کاهش نسبت C/P افزایش پیدا می‌کند (Griffiths et al., 2012) و با افزایش فسفر نرخ تجزیه لاشبرگ نیز افزایش می‌یابد (Kaspari & Yanoviak, 2008).

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که بعد از گذشت یک سال، ۴۵/۹۹ درصد ماده آلی لاشبرگ از دست رفت که نسبت C/P و غلظت نیتروژن بهترین توصیف‌کننده آن هستند. الگوی پویایی غلظت‌های عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و لیگنین مطابق الگوی عمومی ارائه شده است. در پایان دوره بررسی، مقادیر غلظت عناصر غذایی به‌صورت $Ca > N > P > Mg > K$ بود. روند آزادسازی نیتروژن تا ۱۸۰ روز اول منفی و سپس تا پایان دوره مثبت شد. مقدار ضریب ثابت تجزیه لاشبرگ بلوط در مدت ۳۶۰ روز ۰/۴۰۲ درصد در روز به‌دست آمد که نشان داد لاشبرگ بررسی‌شده از ۳۱/۶۶ درصد ظرفیت بالقوه برای هوموسی شدن برخوردار است. در رویشگاه‌های ضعیف، کیفیت شیمیایی لاشبرگ، تعیین‌کننده اصلی حد نهایی تجزیه و تولید هوموس

در تحقیق حاضر نیز غلظت فسفر در طول مدت زمان بررسی افزایش یافت. (Bo et al. (2006) اعتقاد دارند که تثبیت میکروبی و آبشویی ترکیبات کربن‌دار و نیتروژن‌دار سبب افزایش غلظت فسفر در طی فرایند تجزیه می‌شود. غلظت‌های عناصر غذایی در لاشبرگ بررسی‌شده در پایان مدت تحقیق به‌صورت $Ca > N > P > Mg > K$ بود. این نتایج نشان‌دهنده تسهیل در تحرک پتاسیم و منیزیم از لاشبرگ بوده و مؤید این مسئله است که زمان ماندگاری این عناصر در لاشبرگ‌های در حال تجزیه، اندک است. علت شسته شدن سریع منیزیم و پتاسیم از لاشبرگ در حال تجزیه این است که این عناصر تنها از طریق فعالیت‌های میکروبی آزاد نمی‌شوند، بلکه به‌عنوان یون‌های محلول نیز به داخل خاک راه می‌یابند. پتاسیم برخلاف نیتروژن، کلسیم و منیزیم، با ترکیبات پیچیده آلی هیچ پیوندی برقرار نمی‌کند. همسو با نتایج (Wan-Qin et al. (2006)، در تحقیق حاضر نیز غلظت کلسیم از نیتروژن و فسفر بیشتر بود. کلسیم در لاشبرگ گیاهی به‌صورت یون یا نمک‌های غیرمحلول در واکنش‌ها دیده می‌شود و نیز در ساختار دیواره سلولی پیوندهایی محکم با ترکیبات دیگر به‌صورت پکتات کلسیم برقرار می‌کند. آزادسازی آن محتاج فعالیت میکروبی است (برخلاف منیزیم و پتاسیم). بنابراین همراه با تجزیه ساختار لاشبرگ غلظت کلسیم نیز کاهش می‌یابد. همانند نیتروژن و فسفر، غلظت لیگنین نیز در طول مدت تجزیه افزایش می‌یابد و واکنش‌هایی که بین لیگنین و ترکیبات دیگر مانند نیتروژن و کربن رخ می‌دهد سبب افزایش غلظت آن می‌شود (Berg & McClaugherty, 2008). آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که به نوع لاشبرگ بستگی دارد. در خصوص لاشبرگ بیشتر عناصر غذایی (مانند پتاسیم، نیتروژن و فسفر) از طریق آبشویی آزاد می‌شوند و به بیشترین حد خود می‌رسند. که البته مقدار آزادسازی به مقادیر آنها در لاشبرگ بستگی

است. در رویشگاه بررسی شده نیز بلوط ایرانی با تولید لاشبرگ‌هایی که از نظر ترکیبات شیمیایی متفاوت‌اند، سبب ایجاد تغییراتی در حد نهایی تجزیه و در نتیجه تجمع هوموس در کف جنگل شد.

References

- Aponte, C., Garcia, L.V., & Maranon, T. (2012). Tree Species Effect on Litter Decomposition and Nutrient Release in Mediterranean Oak Forests Changes Over Time. *Ecosystems*, 15, 1204-1218.
- Ball, B.A., Bradford, M.A., & Hunteret, M.D. (2009). Nitrogen and phosphorus release from mixed litter layers is lower than predicted from single species decay. *Ecosystems*, 12, 87-100.
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2008). *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Berg, B., De Marco, A., Davey, M., Emmett, B., Hobbie, S., Liu, C., McClaugherty, C., Norell, L., Johansson, M-B., Rutigliano, F., Vesterdal, L., & Virzo De Santo, A. (2010). Limit values for foliar litter decomposition – pine forests. *Biogeochemistry*, 100, 57-73.
- Bo, L., Qing, L., Yanl, W.U., & Hail, H.E. (2006). Nutrient and litter patterns in three subalpine coniferous forests of Western Sichuan, China. *Pedosphere*, 16, 380-389.
- Davey, M., Berg, B., Emmett, B., & Rowland, P. (2007). Decomposition of oak leaf litter is related to initial litter Mn concentrations. *Canadian Journal of Botany*, 85(1), 16-24.
- Ghasemi Aghbash, F., Allah Veisi, G & Hosseini, V. (2016). Investigating Nutrient Quality and Litter Decomposition of Lebanon Oak (*Quercus libani*) in Early Stages of Decomposition Process in the Northern Zagros Forests (Case Study: Hoare Khul Forests in the City of Baneh). *Journal of Zagros Forests Researches*, 3(1),1-17.
- Griffiths, B.S., Spilles, A., & Bonkowski, M. (2012). C: N: P stoichiometry and nutrient limitation of the soil microbial biomass in a grazed grassland site under experimental P limitation or excess. *Ecological Processes*, 1(6), 1-11.
- Guo, L.B., & Sims, R.E.H. (1999). Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 75, 133-144.
- Han, Z., Cui, B., & Zhang, Y. (2015). Decomposition of Phragmites australis rhizomes in artificial land-water transitional zones (ALWTZs) and management implications. *Frontiers of Earth Science*, 9, 555.
- Heidarian, T., Ghasemi Aghbash, F & Pazhohan, I. (2015). Study of bio-engineering characteristics of Crataegus aronia and Quercus brantii to biological stabilization of slopes, Master of Science thesis, University of Malayer, 90 p.
- Kara, O., Bolat, I., Cakiroglu, K., & Senturk, M. (2014). Litter decomposition and microbial biomass in temperate forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrient*, 14(1), 31-41.
- Kaspari, M., & Yanoviak, S.P. (2008). Biogeography of litter depth in tropical forests: evaluating the phosphorus growth rate hypothesis. *Functional Ecology*, 22, 919-923.
- Khodagholi, M., Mokhtari, E., & Montazeri, M. (2016). Acclimation of *Quercus brantii* in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Iranian Journal of Forest*, 7(4), 433-446.
- Laskowski, R., Berg, B., Johansson, M., & McClaugherty, C. (1995). Release pattern for potassium from decomposing forest leaf litter. Long-term decomposition in a Scots pin forest. XI, *Canadian Journal of Botany*, 73(12), 2019-2027.

- Liu, C., Berg, B., Kutsch, W., Westman, C.J., Ilvesniemi, H., Shen, H., Shen, G., & Chen, X. (2006). Leaf litter nitrogen concentration as related to climatic factors in Eurasian forests. *Global Ecological Biogeography*, 15, 438-444.
- Maisto, G., De Marco, A., Meola, A., Sessa, L., & Virzo De Santo, A. (2011). Nutrient dynamics in litter mixtures of four Mediterranean maquis species decomposing in situ. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 520-530.
- Pandey, R.R., Sharma, G., Tripathi, S.K., & Singh, A.K. (2007). Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and managed plantation in northeastern India. *Forest Ecology and Management*, 240(1), 96-104.
- Pato, M., Salehi, A., Zahedi Amiri, Q., & Banj Shafiei, A. (2017). Estimating the amount of carbon storage in biomass of different land uses in Northern Zagros Forest. *Iranian Journal of Forest*, 9(2), 159-170.
- Piccolo, A., Spaccini, R., Haberhauer, G., & Gerzabek, M.H. (1999). Increased sequestration of organic carbon in soil by hydrophobic protection. *Naturwissenschaften*, 86, 496-499.
- Sayad, E., Hosseini, V., Gholami, S., & Salehe-Shooshtari, M.H. (2015). Different predictors determining litter decomposition rate in functional groups of the tree plantations in a common garden. *Trees*, 29(6), 1883-1891.
- Sohng, J., Han, A.R., Jeong, M.A., Park, Y., Bae Park, B., & Park, P.S. (2014). Seasonal Pattern of Decomposition and N, P, and C Dynamics in Leaf litter in a Mongolian Oak Forest and a Korean Pine Plantation. *Forests*, 5, 2561-2580.
- Wan-Qin, Y., Kai-Yun, W., Kellomak, S., & Zhang, J. (2006). Annual and monthly variations in litter macronutrients of three subalpine forests in Western China. *Pedosphere*, 16, 788-798.



Leaf litter Decomposition and Nutrient Dynamics of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in the Northern Zagros Forests (Case Study: Chahar Zabar forests of Kermanshah)

F. Ghasemi Aghbash^{1*}, and M. Zarafshar²

¹ Assistant Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran

² Assistant prof, Natural Resources Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Fars, Iran

(Received: 8 July 2018, Accepted: 15 August 2018)

Abstract

The return of nutrients through leaf litter is one of the most important ways of nutrient cycling and soil fertility conservation in forest ecosystems. The dynamics of nutrients and litter decomposition in the forest have great influence on the availability of soil nutrients. The present study was conducted with the aim of evaluating the nutrient dynamics and leaf litter decomposition in Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) leaf litter using litterbag method for 360 days in Chahar Zabar forests of Kermanshah province. In this study, litterbags (30×20 Cm and 2 mm mesh) were sampled with five replicates at intervals of 60, 120, 180, 240 and 360 days and the following factors were measured: decomposition rates, chemical components of leaf litters such as nitrogen, carbon, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and AUR (Klason lignin). The results showed that in the first year, the mass loss of leaf litter was 45.9%. The nitrogen concentration was 12.22 mg.g⁻¹ which indicates that Iranian oak is a tree with moderate soil modification. The concentration of nutrients was Ca (48.58 ± 0.37 mg.g⁻¹) > N (25.16 ± 0.93 mg.g⁻¹) > P (11.76 ± 0.36 mg.g⁻¹) > Mg (2.73 ± 0.15 mg.g⁻¹) > K (2.55 ± 0.27 mg.g⁻¹). The results of nitrogen release and degradation of lignin showed that nitrogen release had a negative trend up to 180 days and then it was positive until the end of the period. Based on the stepwise regression the C/P and N were the only variables entered into the model which explained 85.8% of mass loss variation. In general, the results of this study showed that Iranian oak modified the soil nitrogen intermediately and has no high potential for humus production.

Keywords: Lignin, Mass loss, Mineralization, Nitrogen.

