

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۲۶

ص ۴۳۳-۴۴۲

## بررسی عوامل تنظیم‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ در توده دست‌کاشت نوئل خالص منطقه لاجیم

- ❖ فرهاد قاسمی آقباش\*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر
- ❖ سید غلامعلی جلالی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
- ❖ وحید حسینی؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان
- ❖ سید محسن حسینی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

فرایند تجزیه لاشبرگ به‌عنوان فرایندی حیاتی در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی مطرح است که طی آن عناصر غذایی لاشبرگ آزاد و وارد خاک می‌شود. تجزیه و تخریب لیگنین به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده نرخ تجزیه لاشبرگ در مرحله آخر توصیف می‌شود. این پژوهش به‌منظور بررسی عوامل تنظیم‌کننده نرخ تجزیه در مراحل آخر این فرایند با انکوباسیون لاشبرگ گونه‌های راش، توسکا، افراپلت و سوزن‌های نوئل با استفاده از روش کیسه‌لاشبرگ به‌مدت ۴۰۵ روز در منطقه لاجیم انجام گرفت. یافته‌های تحقیق نشان داد که نرخ‌های تجزیه لاشبرگ‌ها با غلظت‌های اولیه نیتروژن و منگنز همبستگی مثبت معنی‌دار (به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۱) و با غلظت لیگنین و نسبت‌های C:N و Lignin:N همبستگی منفی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد دارد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین مقدار ماده آلی ازدست‌رفته لاشبرگ‌ها با مقادیر آزادسازی نیتروژن، منگنز و لیگنین معنی‌دار است؛ این همبستگی تنها در مورد آزادسازی منگنز منفی بود. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که ترکیب لاشبرگ گونه‌های پهن‌برگان، بویژه راش با سوزن‌های نوئل در جنگل‌های کوهستانی هیرکانی می‌تواند در تسریع روند تجزیه سوزن‌های نوئل موثر باشد.

واژگان کلیدی: آزادسازی عناصر، تجزیه لاشبرگ، لاشبرگ، لیگنین، منگنز.

## مقدمه

در یک رویشگاه با اقلیم مشخص، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لاشبرگ، تأثیر مهمی در نرخ تجزیه لاشبرگ دارد. بسیاری از محققان وجود چنین ارتباطاتی را گزارش کرده‌اند [۱]. در مراحل اول فرایند تجزیه، غلظت عناصری مانند نیتروژن و فسفر، و در مراحل پایانی نیز غلظت لیگنین، در کنترل نرخ تجزیه تأثیر دارد. براساس مطالعات برگ و همکاران (۱۹۹۳) با گذشت زمان، تأثیر اقلیم در کنترل نرخ تجزیه کاهش می‌یابد. در مراحل پایانی فرایند تجزیه، زمانی که لاشبرگ به حد نهایی تجزیه خود رسیده است، لیگنین تنظیم‌کننده اصلی نرخ تجزیه است [۱]. با شناسایی آنزیم پراکسیداز منگنز، که توسط بازیدیومیست‌های اصلی تخریب‌کننده چوب و همچنین قارچ‌های ساپروفیت تولید می‌شوند، بازدارندگی نیتروژن در تشکیل این آنزیم ثابت شده است [۲]. چگونگی اندازه‌گیری اثر منگنز در تخریب لیگنین و در نتیجه بخشی از لاشبرگ هنوز ناشناخته است. بین تخریب لیگنین و غلظت منگنز لاشبرگ می‌توان ارتباطی را متصور شد، ولی تغییراتی که در طول فرایند تجزیه در غلظت هر دو رخ می‌دهد، مانع هر نوع نتیجه‌گیری کلی و قاطع شده است [۲]. برخی از مطالعات پیشین نشان داده‌اند که ممکن است نیتروژن به‌واسطه تأثیرات بازدارندگی بر فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده لیگنین، تجزیه لاشبرگ را به تأخیر بیندازد. بر همین اساس، هابی (۲۰۰۸) تأثیرات نیتروژن بر تجزیه لاشبرگ‌های هفت گونه را که از لحاظ غلظت‌های اولیه لیگنین متفاوت بودند به مدت پنج سال در جنگل‌های مینه‌سوتا در مرکز آمریکا، بررسی کرد. براساس یافته‌های او، کاهش نرخ تجزیه با اضافه شدن نیتروژن، به دلیل

ممانعت نیتروژن از فعالیت آنزیم‌های مخرب لیگنین نیست، بلکه امکان دارد در نتیجه واکنش‌های متقابل حیاتی بین غلظت زیاد نیتروژن و فرآورده‌های حاصل از تخریب میکروبی یا تأثیرات نیتروژن بر جوامع تجزیه‌کننده باشد [۳]. تروم و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تأثیرات غلظت منگنز بر نرخ تجزیه لاشبرگ راش پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که غلظت منگنز موجب افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌ها (آزادسازی بیشتر دی‌اکسید کربن و کاهش نیترات) می‌شود که خود در تجزیه و تخریب بیشتر لیگنین مؤثر است [۴]. ویرزو د-سانتو و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی به بررسی عوامل تنظیم‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ و تخریب لیگنین در مراحل آخر فرایند تجزیه در چهار گونه سوزنی‌برگ و سه گونه پهن‌برگ پرداختند. براساس یافته‌های آنان، در لاشبرگ پهن‌برگان، نرخ‌های ماده آلی ازدست‌رفته و تخریب لیگنین به‌طور مثبت با آزادسازی نیتروژن و کلسیم و غلظت کلسیم همبستگی داشت. در لاشبرگ سوزنی‌برگان نیز ماده آلی ازدست‌رفته با آزادسازی منگنز و غلظت نیتروژن همبستگی مثبت و با پوسیدگی لیگنین همبستگی منفی داشت. براساس استنتاج این محققان، تأثیرات متفاوت کلسیم، نیتروژن و منگنز در کنترل پوسیدگی لیگنین، به نوع لاشبرگ و شرایط رویشگاه بستگی دارد [۵]. در ارتباط با گونه‌های همزیست مدیترانه‌ای، بنامی و همکاران (۲۰۱۰) پویایی تجزیه و عناصر غذایی را در لاشبرگ‌های آمیخته با استفاده از روش کیسه‌لاشبرگ به مدت ۹۰ روز بررسی کردند. براساس یافته‌های ایشان، عامل کیفیت لاشبرگ بیشترین اثر را در نرخ ماده آلی ازدست‌رفته و پویایی عناصر غذایی دارد، درحالی‌که تنوع لاشبرگ‌ها، با تأثیرگذاری

### جمع‌آوری لاشبرگ

قبل از شروع فصل خزان مکان‌های جمع‌آوری لاشبرگ در رویشگاه‌های طبیعی راش، توسکا، افراپلت و جنگل دست‌کاشت نوئل منطقه لاجیم مشخص شد و با شروع خزان و قبل از هر گونه بارندگی، لاشبرگ‌های راش، توسکا و افراپلت از روی زمین و سوزن‌های نوئل از روی شاخه‌ها در همه جهات جمع‌آوری شد [۲]. لاشبرگ‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شده و سپس بر اساس نوع لاشبرگ از هم تفکیک شدند.

### روش کیسه‌لاشبرگ

در این مطالعه از روش کیسه‌لاشبرگ استفاده شد [۲] که روشی معمول در انکوباسیون لاشبرگ در عرصه یا آزمایشگاه است و در آن لاشبرگ به مقدار لازم در کیسه‌لاشبرگ با ابعاد مشخص قرار داده شده و برای مطالعات تجزیه لاشبرگ در طول مدت تحقیق در آزمایشگاه یا عرصه نصب می‌شود. ابعاد کیسه‌لاشبرگ‌های به‌کاررفته در این تکنیک ۳۰×۲۰ سانتی‌متر با روزنه ۲ میلی‌متر از جنس نایلون بود. در هر کیسه‌لاشبرگ در حدود ۱۰ گرم نمونه لاشبرگ خشک‌شده در فضای آزمایشگاه قرار داده شد. قبل از نصب کیسه‌ها برچسبی شامل نام گونه و وزن اولیه لاشبرگ تهیه و در داخل کیسه‌لاشبرگ‌ها قرار داده شد [۲]. کیسه‌لاشبرگ‌های آماده‌شده تا زمانی که در عرصه نصب شوند به‌طور خشک و در اتاق با دمای معتدل نگهداری شدند. کیسه‌لاشبرگ‌های محتوی پهن‌برگان و سوزن‌های نوئل در روز ۲۴ آبان ۱۳۸۸ در توده

بر کنترل این فرایندها، اثر مهمی در کاستن تغییرپذیری لاشبرگ‌ها دارد [۶].

به‌طور کلی، هدف این تحقیق، بررسی عوامل تنظیم‌کننده نرخ تجزیه در لاشبرگ‌های راش، توسکا، افراپلت و سوزن‌های نوئل در مراحل آخر فرایند تجزیه است. به این منظور، جنگل کاری خالص نوئل منطقه لاجیم واقع در شهرستان سوادکوه انتخاب شد و با استفاده از روش کیسه‌لاشبرگ و آنالیزهای آزمایشگاهی، سنجش‌های لازم انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه تحقیق

تحقیق درباره تجزیه لاشبرگ در رویشگاه جنگلی نوئل واقع در سری ۵ طرح جنگلداری لاجیم در محدوده شهرستان سوادکوه انجام گرفت. نزدیک‌ترین مرکز جمعیتی آن شهر زیراب است که در ۳۰ کیلومتری آن واقع شده است. موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های اکولوژیکی رویشگاه نوئل خالص

طول و عرض جغرافیایی	۳۶° ۱۴' ۴۶" شمالی و ۵۳° ۷' ۱۳" شرقی
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۹۶۵
جهت عمومی	شمالی
شیب عمومی (%)	۲۰
سن توده (سال)	۵۰

آمار و اطلاعات هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه، ایستگاه کلیماتولوژی افراچال (۱۹۶۴-۲۰۰۳)، نشان داد که میانگین متوسط درجه حرارت روزانه ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۸۷۸/۴ میلی‌متر و در مجموع اقلیم منطقه براساس فرمول گسترش‌یافته دومارتن از نوع معتدل مرطوب است.

تکرار روی هر نمونه برای تعیین عناصر غذایی نظیر کربن، نیتروژن، کلسیم و همچنین منگنز و لیگنین انجام گرفت. برای تعیین درصد کربن آلی از روش احتراق استفاده شد. [۹]. نیتروژن لاشبرگ‌ها به روش کجلدال تعیین شد [۱۰]. منگنز لاشبرگ‌ها نیز با استفاده از روش طیف‌سنجی اتمی و دستگاه طیف‌سنج اتمی اندازه‌گیری شد [۱۱]. لیگنین لاشبرگ‌ها نیز با استفاده از روش کلاسون (Klason) و با هضم در اسیدسولفوریک ۷۲ درصد اندازه‌گیری شد [۱۲].

### تجزیه و تحلیل اطلاعات

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون انجام گرفت. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، مقایسه نرخ‌های تجزیه لاشبرگ‌ها و همچنین مقادیر آزادسازی عناصر غذایی و لیگنین از آنالیز واریانس برای مقایسه کلی و از آزمون دانکن برای مقایسه‌های چندگانه استفاده شد. ارزیابی همبستگی‌های بین ماده آلی از دست‌رفته در پایان دوره و غلظت‌های اولیه عناصر غذایی و همچنین ارتباطات خطی بین ماده آلی از دست‌رفته در پایان دوره و مقادیر آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها از طریق ضریب همبستگی پیرسون انجام پذیرفت. همه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.17 در سطوح معنی‌دار بودن ۰/۰۱ و ۰/۰۵ انجام گرفت.

### نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ها در مرحله اول و شروع مرحله آخر تجزیه ارزیابی کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها نشان داد که غلظت‌های

دست‌کاشت نوئل نصب شدند. برداشت کیسه‌لاشبرگ‌ها در فاصله زمانی ۴۰۵ روز از شروع مدت زمان انکوباسیون، در روز چهارم دی‌ماه ۱۳۸۹، مصادف با شروع مراحل آخر تجزیه انجام گرفت.

### محاسبه نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها

بعد از جمع‌آوری کیسه‌لاشبرگ‌ها و خشک کردن آنها، ناپاکی‌های مربوط نظیر آلودگی به گل‌ولای، شاخ و برگ، خزه و غیره زدوده شده و نمونه‌ها در آن ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. برای محاسبه نرخ تجزیه لاشبرگ از رابطه اصلی نمایی منفی ساده تجزیه استفاده شد [۷].

$$M_t = M_0 \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

$M_0$ : وزن اولیه لاشبرگ،  $M_t$ : وزن باقی‌مانده بعد از گذشت  $t$ ،  $t$ : زمان جمع‌آوری لاشبرگ از عرصه (به روز)،  $K$ : ضریب ثابت تجزیه

### آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها

میزان آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها ( $R$ ) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$R \% = W.C. - W_t C_t / W.C. \times 100 \quad (2)$$

$W_0$ : وزن خشک اولیه،  $W_t$ : وزن خشک باقی‌مانده،  $C_0$ : غلظت عناصر غذایی (میلی‌گرم در گرم) در لاشبرگ اولیه،  $C_t$ : غلظت عناصر غذایی (میلی‌گرم در گرم) بعد از جمع‌آوری [۸].

اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ها از نظر

### عناصر کربن، نیتروژن، منگنز و لیگنین

لاشبرگ‌ها به منظور سنجش ترکیب شیمیایی پس از تمیز و خشک شدن با استفاده از آسیاب خرد و از الک نمره ۲۰ عبور داده شدند. سپس آنالیزهای شیمیایی در چهار

مقدار غلظت لیگنین حالت بینابینی دارد. لاشبرگ راش نیز از نظر غلظت نیتروژن کمترین مقدار را دارد، ولی از نظر مقدار منگنز بیشترین حد را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

در این مطالعه بنا به اهداف تعیین شده، اندازه گیری ترکیب شیمیایی لاشبرگها در شروع مرحله آخر نیز انجام گرفت (جدول ۳).

اولیه لیگنین و عناصر غذایی در میان لاشبرگها متفاوت است. سوزنهای نوئل از نظر غلظت کربن و همچنین مقدار لیگنین با لاشبرگ پهن برگان تفاوت دارند. نکته شایان توجه در مورد سوزنهای نوئل این است که غلظت نیتروژن در آن با لاشبرگ افراپلت اختلاف معنی داری نشان نمی دهد. توسکا از نظر غلظت نیتروژن بیشترین مقدار و از نظر مقدار لیگنین کمترین حد را به خود اختصاص داده است. لاشبرگ افراپلت از نظر

جدول ۲. ترکیب شیمیایی اولیه لاشبرگ گونه های مورد مطالعه (میلی گرم در گرم)

نوع لاشبرگ	کربن	لیگنین	منگنز	نیتروژن
	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین
نوئل	۴۲۳/۲۳ ± ۰/۲۲ a	۲۹۲/۶ ± ۹/۰ a	۰/۰۵۵ ± ۰/۰۰۳ bc	۱۲/۸۴ ± ۰/۱۰ b
افراپلت	۳۷۸/۸۷ ± ۰/۰۹ c	۲۴۲/۶ ± ۱/۴ c	۰/۰۶۲ ± ۰/۰۰۳ b	۱۳/۳۴ ± ۰/۲۳ b
راش	۴۱۶/۹۳ ± ۰/۰۸ b	۲۷۰/۶ ± ۵/۲ b	۰/۲۱۲ ± ۰/۰۱۰ a	۱۰/۴۹ ± ۰/۰۱ c
توسکای بیلاقی	۴۱۷/۵۰ ± ۰/۰۴ b	۲۰۴/۷ ± ۲/۹ d	۰/۰۴۰ ± ۰/۰۰۲ c	۲۰/۸۲ ± ۰/۲۱ a

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ دارند.

جدول ۳. ترکیب شیمیایی لاشبرگها (میلی گرم در گرم) در شروع مرحله آخر تجزیه در رویشگاه نوئل

ترکیب شیمیایی	راش	توسکای بیلاقی	افراپلت	نوئل
	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین
کربن	۳۹۴/۹ ± ۲/۷۷ b	۴۰۴/۲ ± ۳/۲۳ a	۳۶۳/۸ ± ۰/۹۱ c	۴۰۱/۸ ± ۰/۸۲ ab
نیتروژن	۱۵/۰۳ ± ۰/۶۹ c	۲۸/۶۸ ± ۱/۱۹ a	۲۰/۳۹ ± ۰/۵۱ b	۱۶/۶۳ ± ۰/۳۵ c
منگنز	۰/۲۲۵ ± ۰/۰۰۴ a	۰/۱۰۲ ± ۰/۰۱۱ c	۰/۱۵۹ ± ۰/۰۱۲ b	۰/۰۹۹ ± ۰/۰۰۶ c
لیگنین	۲۸۹/۰۰ ± ۵/۶۹ b	۲۷۱/۶۶ ± ۱۵/۱۹ b	۲۷۶/۳۳ ± ۲/۶۰ b	۳۳۱/۶۶ ± ۸/۸۳ a

اعداد با حروف متفاوت در یک سطر اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ دارند.

و مقدار عناصر غذایی لاشبرگ را به هم مربوط می کنند مانند C:N و Lignin:N اغلب به طور منفی با نرخ های اولیه تجزیه ارتباط دارند [۱۳].

مقادیر نرخ ثابت تجزیه لاشبرگها در پایان دوره انکوباسیون

براساس جدول ۴ مشاهده می شود که در رویشگاه نوئل خالص افراپلت بیشترین نرخ تجزیه را به خود اختصاص داده است؛ بعد از لاشبرگ افراپلت، بیشترین

در شروع مرحله آخر تجزیه، غلظت های نیتروژن، منگنز و لیگنین در همه لاشبرگها افزایش یافته و برعکس مقدار کربن در تمامی لاشبرگها کاهش یافته بود (جدول ۳). غلظت نیتروژن در سوزنهای نوئل و لاشبرگ راش کمترین حد بود. بیشترین مقدار منگنز نیز در لاشبرگ راش بود. با توجه به افزایش نیتروژن و منگنز می توان انتظار داشت که تجزیه در این مرحله روند سریع تری یابد. براساس نظر پرسکات و همکاران (۲۰۰۵)، شاخص هایی که کربن

جدول ۴. نرخ تجزیه لاشبرگ‌های راش، توسکا، افراپلت و نوئل در رویشگاه نوئل خالص در پایان دوره انکوباسیون

نرخ ثابت تجزیه میانگین $\pm$ اشتباه معیار	لاشبرگ
۰/۲۱۷ $\pm$ ۰/۰۱۴	c
۰/۳۴۹ $\pm$ ۰/۰۲۳	b
۰/۲۴۰ $\pm$ ۰/۰۱۱	c
۰/۴۶۲ $\pm$ ۰/۰۲۳	a

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ دارند.

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین ماده آلی ازدست‌رفته در پایان دوره و غلظت‌های اولیه برخی از عناصر غذایی اصلی، لیگنین و نسبت‌های C:N و Lignin:N در رویشگاه نوئل

P <	n	R	
۰/۰۵	۱۶	۰/۶۴۲	نیترژن
۰/۰۱	۱۶	۰/۹۴۲	منگنز
۰/۰۵	۱۶	- ۰/۷۸۰	لیگنین
۰/۰۵	۱۶	- ۰/۸۰۴	C:N
۰/۰۵	۱۶	- ۰/۷۹۹	Lignin:N

عناصر (نیترژن و کربن) هستند [۱۴]. مشاهده همبستگی منفی قوی بین نرخ تجزیه با نسبت Lignin:N تعجب‌آور نیست. به هر حال آنچه در بیشتر مطالعات بارها بیان شده، همبستگی قوی بین غلظت نیترژن و نرخ تجزیه لاشبرگ در کوتاه‌مدت است [۱۵، ۱۶] و دلیل این امر، افزایش بیوماس میکروبی غنی از نیترژن در طول فرایند تجزیه [۱۷، ۱۸] و تثبیت تصاعدی نیترژن در ترکیبات لیگنینی مقاوم در برابر پوسیدگی [۱۹] ذکر شده است. یافته‌های این تحقیق مطابق با نتایج تروم و همکاران (۲۰۱۰) و ویرزود - سانتو و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که نرخ تجزیه لاشبرگ با غلظت اولیه منگنز همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد دارد. زیاد بودن نرخ تجزیه در شروع مرحله آخر نشان از تأثیر و اهمیت خصوصیات کیفی لاشبرگ (C, N, Mn, L, C:N) در کنترل نرخ تجزیه به‌ویژه در سطوح کوچک یعنی رویشگاه دارد [۱، ۲۰].

نرخ تجزیه مربوط به لاشبرگ توسکا بود. لاشبرگ راش و سوزن‌های نوئل نیز نرخ تجزیه مشابهی دارند.

#### همبستگی بین نرخ تجزیه لاشبرگ با مقادیر اولیه غلظت‌های عناصر غذایی، لیگنین و نسبت‌های کیفیت لاشبرگ

برای توصیف نرخ تجزیه لاشبرگ رویکردهای مختلفی وجود دارد؛ یکی از این رویکردها استفاده از شاخص‌های شیمیایی لاشبرگ نظیر نیترژن، منگنز، لیگنین و غیره است (جدول ۵).

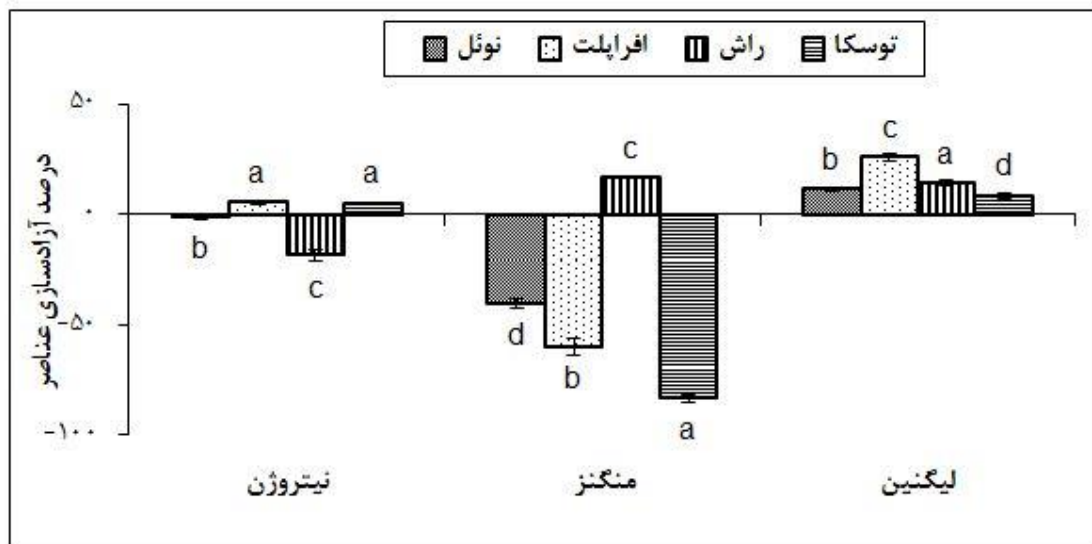
نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در پایان دوره انکوباسیون، مطابق یافته‌های هابی و همکاران (۲۰۰۸) و بنامی و همکاران (۲۰۱۰)، غلظت‌های اولیه نیترژن و منگنز همبستگی مثبتی با نرخ تجزیه داشتند، درحالی‌که غلظت لیگنین و نسبت‌های C:N و Lignin:N همبستگی منفی معنی‌داری با نرخ تجزیه نشان دادند [۳، ۶]. مقدار نیترژن و نسبت C:N عوامل مهمی در ارزیابی نرخ تجزیه لاشبرگ و الگوهای آزادسازی این

توسکا مثبت است، درحالی‌که در سوزن‌های نوئل و لاشبرگ راش، نیتروژن تثبیت شده است. از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری در مقدار آزادسازی نیتروژن در لاشبرگ‌های افرایلت و توسکا با سوزن‌های نوئل و لاشبرگ راش وجود دارد. برخلاف لاشبرگ راش، در بقیه لاشبرگ‌ها منگنز تثبیت شد که از این نظر نیز اختلافات معنی‌داری در آنها مشاهده شد. آزادسازی لیگنین در همه لاشبرگ‌ها مثبت بود و از این نظر، بیشترین و کمترین مقدار آزادشده به ترتیب مربوط به لاشبرگ‌های افرایلت و توسکا بود.

### آزادسازی عناصر غذایی و لیگنین و ارتباط آنها با نرخ

#### تجزیه لاشبرگ در شروع مرحله آخر فرایند تجزیه

غلظت‌های نیتروژن، منگنز و لیگنین از جمله عوامل محدودکننده تجزیه در طول مرحله آخر محسوب می‌شوند بنابراین با در نظر داشتن این مسئله، مقادیر آزادسازی این عناصر در روز ۴۰۵ انکوباسیون که مصادف با آغاز مرحله آخر تجزیه است، اندازه‌گیری و ارتباط آنها با نرخ‌های تجزیه لاشبرگ ارزیابی شد. براساس شکل ۱ مشاهده می‌شود که درصد آزادسازی نیتروژن در لاشبرگ دو گونه افرایلت و



شکل ۱. درصد آزادسازی نیتروژن، منگنز و لیگنین در رویشگاه نوئل خالص

جدول ۶. ضرایب همبستگی برای ارتباطات خطی بین ماده آلی ازدست‌رفته در پایان دوره و مقادیر آزادسازی نیتروژن، منگنز و لیگنین در شروع مرحله آخر در رویشگاه نوئل خالص

$P < 0.05$	$n$	R	
0.05	16	0.840	نیتروژن
0.01	16	-0.853	منگنز
0.05	16	0.807	لیگنین

که در مورد نیتروژن و لیگنین این همبستگی‌ها مثبت و در سطح 0.05 معنی‌دارند، درحالی‌که در مورد منگنز، همبستگی منفی و در سطح 0.01 معنی‌دار است. مرحله

براساس جدول ۶ مشاهده می‌شود که بین مقادیر آزادسازی نیتروژن، منگنز و لیگنین با نرخ‌های تجزیه لاشبرگ همبستگی‌های معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری

### نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های تحقیق مشخص شد که نرخ‌های تجزیه لاشبرگ‌ها با غلظت‌های اولیه نیتروژن و منگنز همبستگی مثبت معنی‌دار و با غلظت لیگنین و نسبت‌های C:N و Lignin:N همبستگی منفی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد دارد. بنابراین لاشبرگ‌هایی مانند راش و سوزن‌های نوئل با غلظت اولیه پایین نیتروژن در مقایسه با لاشبرگ‌های توسکا و افراپلت دیرتر تجزیه می‌شوند. اما با توجه به نتایج همبستگی‌های موجود بین مقدار ماده آلی ازدست‌رفته لاشبرگ‌ها با مقادیر آزادسازی نیتروژن، منگنز و لیگنین مشخص شد که لاشبرگ راش با آزادسازی منگنز می‌تواند در اثر ترکیب با سوزن‌های نوئل روند تجزیه سوزن‌ها را تسریع بخشد. بنابراین به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کاربردی از این تحقیق می‌توان به ترکیب گونه‌های درختی راش و نوئل در جنگلکاری‌های مناطق بالابند رویشگاه خزری اشاره کرد، به‌طوری‌که لاشبرگ راش با غلظت زیاد منگنز در مقایسه با سوزن‌های نوئل می‌تواند روند تجزیه سوزن‌ها را سرعت بخشد و از انباشته شدن سوزن‌ها در کف جنگل ممانعت کند.

آخر تجزیه لاشبرگ براساس شدت تخریب و پوسیدگی لیگنین و معدنی شدن نیتروژن توصیف می‌شود [۱۳]. در این مطالعه، غلظت‌های منگنز و لیگنین اثر معنی‌داری بر نرخ تجزیه لاشبرگ داشتند. بنابراین می‌توان اذعان داشت که فرایند تجزیه لاشبرگ در شروع مرحله آخر، به نوع لاشبرگ بستگی دارد. اثر منگنز در کاهش مقدار نیترات لاشبرگ ممکن است با اختلالاتی در فرایند نیترات‌سازی همراه باشد که همین موضوع می‌تواند در تجزیه و تخریب لیگنین توسط میکروارگانیسم‌ها مؤثر باشد [۲]؛ زیرا غلظت زیاد نیتروژن (به‌ویژه در مرحله آخر تجزیه) فرایند تجزیه را محدود می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که برخی عناصر، نظیر منگنز حتی در سیستم‌های غیرآلوده از لاشبرگ آزاد نمی‌شوند. با نزدیک شدن به مراحل آخر تجزیه، این عناصر در لاشبرگ به بیشترین مقدار خود می‌رسند [۲]. در مطالعه حاضر نیز این مسئله به‌خوبی مشاهده شد (شکل ۱). غلظت لیگنین در طول مدت تجزیه به‌طور خطی افزایش یافت که ممکن است ناشی از تأثیر منفی افزایش غلظت نیتروژن یا آزادسازی بیشتر منگنز در طول فرایند تجزیه باشد [۱]. بنابراین، ارتباط منفی آزادسازی منگنز و مقدار ماده آلی ازدست‌رفته مطابق با نتایج این تحقیق تأیید می‌شود (جدول ۶).



## References

- [1]. Berg, B., Berg, M., Bottner, P., Box, E., Breymeyer, A., Calvo de Anta, R., Coûteaux, M.M., Gallardo, A., Escudero, A., Kartz, W., Maderia, M., Mälkönen, E., McClaugherty, C., Meentemeyer, V., Muñoz, F., Piussi, P., Remacle, J., and Virzo de santo, A. (1993). Litter mass rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*. 20: 127-159.
- [2]. Berg, B., and McClaugherty, C. (2008). *Plant litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 338 p.
- [3]. Hobbie, S.E. (2008). Nitrogen effects on litter decomposition: a five-year experiment in eight temperate grassland and forest sites. *Ecology* 89:2633–2644.
- [4]. Trum F., Titeux H., and Delvaux B. (2010). “Effects of manganese concentration on beech leaf litter decomposition: results from field and laboratory experiments,” in 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, 40–43.
- [5]. Virzo De Santo, A., De Marco, A., Fierro, A., Berg, B., and Rutigliano, F.A. (2009). Factors regulating litter mass and lignin degradation in late decomposition stages. *Plant and Soil*. 318:217-228.
- [6]. Bonanomi, G., Incerti, G., Antignani, V., Capodilupo, M., and Mazzoleni, S. (2010). Decomposition and nutrient dynamics in mixed litter of Mediterranean species. *Plant and Soil*. doi:10.1007/s11104-009-0269-6.
- [7]. Polyakova, O., and Billor, N. (2007). Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management*. 253:11-18.
- [8]. Guo, L.B., and Sims, R.E.H. (1999). Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. *Agriculture, Ecosystems and Environments*. 75: 133-140.
- [9]. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed.*, A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI.
- [10]. Bremner, J.M and Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-Total. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA, SSSA, Madison, WI, pp, 595-624.
- [11]. Issac, R.A., and Johnson, W.C. (1975). Collaborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. *J. Assoc. Agri. chem.* 58-436.
- [12]. Goering, H.K., and Van Soest, P.J. (1970). Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *USDA Agricultural Handbook No. 379*.
- [13]. Prescott, C. (2005). Do rates of litter decomposition tell us anything we really need to know? *Forest Ecology and Management*. 220:66-74.
- [14]. Melillo, J.M., Aber, J.D., and Muratore, J.F. (1982). Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*. 63: 621-626.
- [15]. Wang, Q., Wang, S., and Huang, Y. (2008). Leaf litter decomposition in the pure and mixed plantations of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* in subtropical China. *Biol Fertil Soils*. 45:371–377.
- [16]. Moro, M.J., and Domingo, F. (2000). Litter decomposition in Four Woody Species in a Mediterranean Climate: Weight Loss, N and P Dynamics. *Annals of Botany*. 86: 1065-1071.

- [17]. Grgorich, E.G., Voroney, R.P., and Kachanoski, R.G. (1991). Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures. *Soil Biol. Biochem.* 23, 799–805.
- [18]. Aikio, S., Vare, H., and Strommer, R. (2000). Soil microbial activity and biomass in the primary succession of a dry heath forest. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1091–1100.
- [19]. Berg, B., Wessen, B., and Ekbohm, G. (1982). Nitrogen level and lignin decomposition in Scots pine needle litter. *Oikos.* 38:291–296.
- [20]. Heal, O.W., Anderson, J.M., and Swift, M.J. (1997). Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International Wallingford, UK. pp. 3–45.