بررسی ارتباط بین پویایی عناصر غذایی و ترکیب شیمیایی لاشبرگ با نرخ تجزیه لاشبرگ در مراحل آخر فرایند تجزیه

فرهاد قاسمی آقباش[۱]، سیدغلامعلی جلالی[۲]*، وحید حسینی[۳]، سیدمحسن حسینی[۲] و ژورن برگ[۴]

[۱] ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست

[۲] نور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، گروه جنگلداری

[۳] سنندج، دانشگاه کردستان، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگلداری

[۴] فنلاند، هلسینکی، دانشگاه هلسینکی، گروه اکولوژی جنگل

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۹

چکیده

مرحله آخر فرایند تجزیه زمانی شروع می‌شود که تجزیه و تخریب لیگنین اتفاق می‌افتد، یعنی بعد از گذشت یکسال از شروع فرایند. فاکتورهای تنظیم‌کننده تجزیه لیگنین و در نتیجه لاشبرگ در این مرحله کمتر شناخته شده و اطلاعات ما درخصوص چگونگی این فاکتورها در میان لاشبرگها و رویشگاه‌های گوناگون با شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت، کمتر است. بنابراین برای نیل به این مهم، مطالعه حاضر با هدف تعیین چگونگی کنترل تخریب لیگنین و در نتیجه نرخ از دست‌دهی ماده آلی لاشبرگ بوسیله نیتروژن، کلسیم و منگنز در لاشبرگ گونه‌های نوئل، توسکای ییلاقی و افرایلت در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته بعد از گذشت ۴۰۰ روز از فرایند تجزیه در منطقه لاجیم انجام شد. نتایج نشان داد که نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌ها بغیر از افرایلت در رویشگاه نوئل آمیخته نسبت به نوئل خالص بیشتر بود. در رویشگاه نوئل خالص نرخ تجزیه لاشبرگها با غلظتهای منگنز و کلسیم ارتباط مثبت معنی‌داری داشت اما بین غلظتهای منگنز و کلسیم با غلظت لیگنین هیچگونه ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. در رویشگاه نوئل آمیخته غلظتهای نیتروژن و لیگنین با نرخ تجزیه لاشبرگها به‌ترتیب ارتباط معنی‌دار مثبت و منفی داشتند. همچنین در این رویشگاه بین غلظتهای کلسیم با لیگنین ارتباط معنی‌دار منفی وجود داشت. در ارتباط با نوع لاشبرگ بغیر از لاشبرگ سوزنی‌برگ، که میزان نیتروژن به‌عنوان فاکتور تنظیم‌کننده نرخ تجزیه در مرحله آخر محسوب می‌گردد، هیچ‌یک از فاکتورهای کیفی توصیفی (نیتروژن، لیگنین، منگنز و کلسیم) بر نرخ تجزیه لاشبرگ در مرحله آخر تأثیر نداشتند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه لاشبرگ، غلظتهای نیتروژن، منگنز، کلسیم و لیگنین، رویشگاه نوئل خالص، رویشگاه نوئل آمیخته

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۱۲۷۶۴۱۱، پست الکترونیکی: gholamalij@yahoo.com

مقدمه

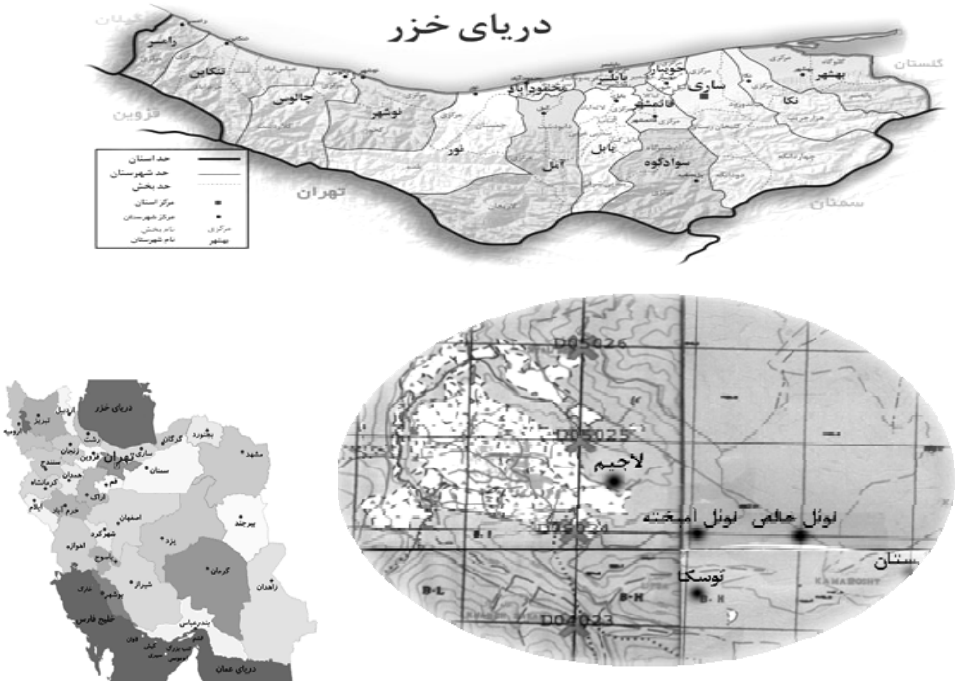
تجزیه لاشبرگ به‌عنوان یک فرایند مهم در اکوسیستم‌ها محسوب می‌گردد که نقش اساسی در چرخه کربن و نیتروژن بازی می‌کند. خصوصیات ساختاری و ترکیب شیمیایی لاشبرگ قابلیت تجزیه لاشبرگها، که ساختار مواد آلی خاک به آن بستگی دارد، را تعیین می‌کند (۳). بطورکلی فرایند تجزیه لاشبرگ به ۲ مرحله تقسیم می‌شود که از لحاظ پارامترهای محدودکننده تجزیه با هم متفاوتند. مرحله اول (Early stage) و مرحله آخر (Late stage). در مرحله اول تجزیه، ترکیبات محلول خیلی سریع پوسیده یا شسته می‌شوند؛ سلولز و همی‌سلولز در لاشبرگهای غنی برخلاف لاشبرگهای ضعیف (فقیر از لحاظ مواد غذایی) سریع‌تر تجزیه می‌شوند؛ بنابراین مدت زمان مرحله اول

تجزیه ممکن است از چند ماه تا بیشتر از یکسال به طول بینجامد. در نتیجه تجزیه لاشبرگ غلظتهای لیگنین و نیتروژن افزایش می‌یابد (۷). لاشبرگهایی با غلظتهای اولیه پایین نیتروژن ممکن است نسبت به آنهایی که غلظتهای اولیه بالای نیتروژن دارند، نیتروژن زیادی را انباشته کنند (۴ و ۲۰). همچنین فاکتورهای رویشگاه در تثبیت ازت لاشبرگهای در حال تجزیه نقش دارند. تجمع نیتروژن در لاشبرگ ممکن است با سطوح ازت خاک تغییر یابد (۲ و ۲۹). مرحله آخر فرایند تجزیه ممکن است بخش عظیمی از این فرایند را شامل بشود. لیگنین و فراورده‌های هوموسی شبه لیگنینی تعدیل شده که تخریب آنها تجزیه لاشبرگ را تحت تسلط خود دارند، بخش مهم لاشبرگ را در مرحله آخر تشکیل می‌دهند (۵ و ۱۶). فاکتورهای محدودکننده در طول مراحل آخر تجزیه شامل غلظتهای نیتروژن، منگنز، کلسیم و همچنین شرایط اقلیمی و خاکی می‌باشد (۳۰). غلظتهای بالای نیتروژن تخریب لیگنین را مختل می‌کند. دلیل این امر ممانعت از تشکیل آنزیم لیگناز در میکروارگانیسمهای مخرب لیگنین (۳) یا مساعد کردن شرایط برای تشکیل فراورده‌های جدید متمرد در تجزیه ذکر شده است (۲۶). همواره وجود نیتروژن زیاد به‌عنوان یک عامل کاهنده نرخ تجزیه لاشبرگ در مراحل آخر شناخته شده (۱۶) یا اینکه به لاشبرگ این امکان را می‌دهد که به پایین‌ترین حد نهایی (Limit value) خود برسد (۶). به‌هرحال در تضاد با چنین یافته‌هایی این مسئله بیان شده که افزایش و ترقی در غلظتهای نیتروژن ممکن است اثر کم یا هیچ اثری بر روی فرایند تجزیه نداشته باشد. بنابراین گفته می‌شود که اثر بازدارندگی نیتروژن در تخریب لیگنین در اکوسیستم‌ها فراگیر نیست (۲۰). علاوه بر نیتروژن، منگنز و کلسیم نیز به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های تخریب لیگنین شناخته شده‌اند (۱۵). پراکسیداز منگنز در میان آنزیمهای لیگنولتیک تولیدشده توسط قارچها، شناخته شده‌ترین می‌باشد (۲۲). این آنزیم مسئولیت انتظاری را که از تأثیر منگنز بر تجزیه می‌توان داشت، برعهده دارد. از دست دادن ماده آلی لاشبرگ در مراحل آخر تجزیه بطور مثبت با غلظتهای منگنز در نوئل (۸) با کاج (۱۰) با بلوط (۱۴) و همچنین با تعدادی از لاشبرگ گونه‌ها (۱۰) ارتباط دارد.

به‌هرحال این ارتباط مبهم می‌باشد و بنظر می‌رسد که بستگی به نوع گونه و غلظت بحرانی منگنز در لاشبرگ داشته باشد (۱۰). کلسیم خاک و لاشبرگ با تأثیر بر pH خاک و در نتیجه فعالیت میکروفلور خاک می‌تواند فرایند تجزیه را تحت تأثیر قرار بدهد. اغلب افزایش pH خاک با افزایش بیوماس میکروبی، نرخ تجزیه و تنفس خاک و همچنین میزان معدنی‌شدن نیتروژن همراه است (۱، ۲۱، ۲۵ و ۲۸). تاکنون مطالعات کمی درخصوص اثرات غلظتهای عناصر غذایی بر نرخ تجزیه لاشبرگ در مراحل آخر تجزیه انجام شده است (۳۰) و آگاهی ما در مورد اینکه چگونه آنها در میان لاشبرگ گونه‌ها و رویشگاه‌هایی با شرایط اقلیمی خاکی گوناگون متفاوت هستند، کمتر است. بنابراین برای اظهارنظر در این خصوص به‌ویژه نقش نیتروژن و منگنز در تخریب لیگنین به مطالعات زیادی نیاز است. هدف از مطالعه حاضر دستیابی به نقش فاکتورهای رویشگاه و ترکیب شیمیایی لاشبرگ در تنظیم تجزیه لاشبرگ در مراحل آخر تجزیه می‌باشد. بهمین منظور ۳ نوع لاشبرگ پهن‌برگ و سوزنی‌برگ که از لحاظ غلظتهای عناصرغذایی و غلظت لیگنین متفاوت می‌باشند انتخاب گردید. این لاشبرگها در ۲ تیپ نوئل خالص و نوئل آمیخته مورد انکوباسیون قرار گرفتند. تغییرات در غلظتهای نیتروژن، کلسیم و منگنز در مراحل آخر تجزیه زمانی که تخریب لیگنین اتفاق می‌افتد، اندازه‌گیری شدند. در این مطالعه فرض گردید که در مراحل آخر، نرخ تجزیه و تخریب لیگنین میزان از دست‌دهی ماده آلی لاشبرگ را تعیین می‌کند و قابلیت در دسترس بودن نیتروژن، منگنز و کلسیم نیز نرخ تجزیه و تخریب لیگنین را مشخص می‌کند.

مواد و روشها

انواع لاشبرگ و رویشگاه‌های مورد انکوباسیون: بمنظور انجام این بررسی لاشبرگ گونه‌های نوئل (*Picea abies* (L) Karst)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Meyer) و افراپلت (*Acer velutinum* Boiss.) در پاییز ۱۳۸۸ از رویشگاه‌های نوئل خالص و آمیخته واقع در منطقه لاجیم که در ناحیه البرز مرکزی جنگلهای تحت مدیریت اداره کل منابع طبیعی ساری و در محدوده شهرستان سوادکوه قرار دارند، جمع‌آوری گردید. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات هر یک از رویشگاه‌ها از لحاظ موقعیت جغرافیایی، مشخصات اقلیمی و خاک

رویشگاه نوئل خالص		رویشگاه نوئل آمیخته	
″۴۶ ′۱۴ ®۳۶ شمالی و ″۱۳ ′۷ ®۵۳ شرقی		″۴۱ ′۱۴ ®۳۶ شمالی و ″۳۳ ′۷ ®۵۳ شرقی	طول و عرض جغرافیایی
۹۶۵		۹۲۵	ارتفاع از سطح دریا (متر)
نوئل		نوئل، توسکا، افراپلت	گونه‌های درختی
۵۰		۴۵	سن توده (سال)
۱۷/۳		۱۷/۳	میانگین درجه‌حرارت سالانه (°C)
۸۷۸/۴		۸۷۸/۴	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)
مور		مول	نوع هوموس
۵/۷۵	pH	۷/۱۶	مشخصات خاک در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر
۲۷/۳	C	۳۴/۸	(mg/g)
۱/۳۷	N	۱/۶	
۱۹/۹۳	C/N	۲۱/۷۶	
۳/۲۴	Mn	۱/۲۳	
۰/۸۸	Ca	۰/۶۷	

لاشبرگهای جمع‌آوری شده، در ۲ رویشگاه نوئل خالص و نوئل آمیخته مورد انکوباسیون قرار گرفتند. مشخصات هریک از رویشگاه‌ها از لحاظ موقعیت جغرافیایی، مشخصات اقلیمی و خاک در جدول ۱ آورده شده است. براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه کلیماتولوژی افراچال (۱۹۶۴-۲۰۰۳) که نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه است، میانگین متوسط درجه‌حرارت روزانه ۱۷/۳ درجه‌سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۸۷۸/۴ میلی‌متر بود. اقلیم منطقه براساس فرمول گسترش یافته دومارتن از نوع اقلیم معتدل مرطوب می‌باشد.

آماده‌سازی لاشبرگ، انکوباسیون، نمونه‌گیری و تعیین ماده آلی از دست رفته: لاشبرگهای جمع‌آوری شده در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه بمدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شدند. سپس براساس نوع لاشبرگ از همدیگر تفکیک شدند. در این مطالعه از تکنیک Litterbag استفاده شد. ابعاد کیسه‌های لاشبرگ بکار برده شده در این تکنیک ۲۰×۳۰ سانتی‌متر با روزنه ۲ میلی‌متر از جنس نایلون بود. در هر کیسه‌لاشبرگ در حدود ۱۰ گرم نمونه لاشبرگ خشک شده در فضای آزمایشگاه قرار داده شد. بمنظور ارزیابی کیفیت اولیه و عناصرغذایی لاشبرگها از هر نمونه لاشبرگ ۵ گرم زیرنمونه انتخاب شده و در آون ۶۵ درجه‌سانتی‌گراد بمدت ۲۴ ساعت خشک گردید. قبل از نصب کیسه‌ها برچسبی شامل نام گونه و وزن اولیه لاشبرگ تهیه شده و در داخل کیسه لاشبرگها قرار داده شد (۳). کیسه لاشبرگهای آماده شده تا زمانی که در عرصه نصب بشوند بطور خشک و در اتاق با دمای معتدل نگه داشته شدند. ۲۴ کیسه‌لاشبرگ آماده شده (۲ رویشگاه × ۳ گونه × ۴ تکرار) و در یک زمان با توجه به هدف مطالعه در مناطق جمع‌آوری لاشبرگ در هر رویشگاه و با استفاده از میخهای آهنی ۱۵ سانتی‌متری برای جلوگیری از جابجایی آنها، در زمین نصب شدند. بمنظور جلوگیری از خسارتهای پستانداران منطقه نظیر گراز، تشی، گاو و غیره مناطق نصب کیسه‌لاشبرگها توسط چپرکشی محصور گردید. کیسه‌لاشبرگها بعد از جمع‌آوری فوراً در کیسه‌های پلاستیکی مهر و موم شده به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه لاشبرگهای موجود در کیسه‌ها در صورت آلودگی به مواد آلی ناپاک یا مواد معدنی اضافی با ملایمت پاک شدند. سپس در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۴ ساعت خشک شدند. برای محاسبه میزان ماده آلی از دست رفته از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{Mass loss}(\%) = [W_0 \bar{E} W_t / W_0] \times ۱۰۰$$

که: Mass loss: میزان ماده آلی از دست رفته، W_0: وزن خشک اولیه، W_t: وزن خشک باقیمانده بعد از جمع‌آوری لاشبرگ از عرصه (۳).

آنالیزهای شیمیایی لاشبرگ: نمونه لاشبرگهای جمع‌آوری شده برای اندازه‌گیری نیتروژن، کلسیم، منگنز و لیگنین مورد آنالیز قرار گرفتند. بهمین منظور نمونه‌ها بعد از پاکسازی از هرگونه آلودگی با استفاده از آسیاب خرد و از الک نمره ۲۰ عبور داده شدند. نیتروژن لاشبرگها بعد از هضم نیم گرم از نمونه در اسیدسولفوریک غلیظ و بکارگیری یک قرص کاتالیزور با روش کجلدال (Kjeldahl) تعیین گردید (۱۳). کلسیم و منگنز لاشبرگها با استفاده از روش طیف‌سنجی اتمی و دستگاه طیف‌سنج اتمی اندازه‌گیری شدند (۲۳). لیگنین لاشبرگ نیز از طریق روش کلاسون (Klason) و بوسیله هضم در اسیدسولفوریک ۷۲ درصد اندازه‌گیری شد (۱۷).

اندازه‌گیری شاخصهای تجزیه (تغییرات در عناصرغذایی و لیگنین) در مرحله آخر تجزیه: مرحله آخر تجزیه زمانی که پوسیدگی و تخریب لیگنین شروع می‌شود، آغاز می‌شود. بنابراین شروع مرحله آخر در حدود یکسال بعد از مدت زمان انکوباسیون یعنی بعد از گذشت ۳۶۵ روز می‌باشد (۳۰). در این مطالعه آخرین زمان اندازه‌گیری ۴۰۰ روز برای هر دو رویشگاه می‌باشد.

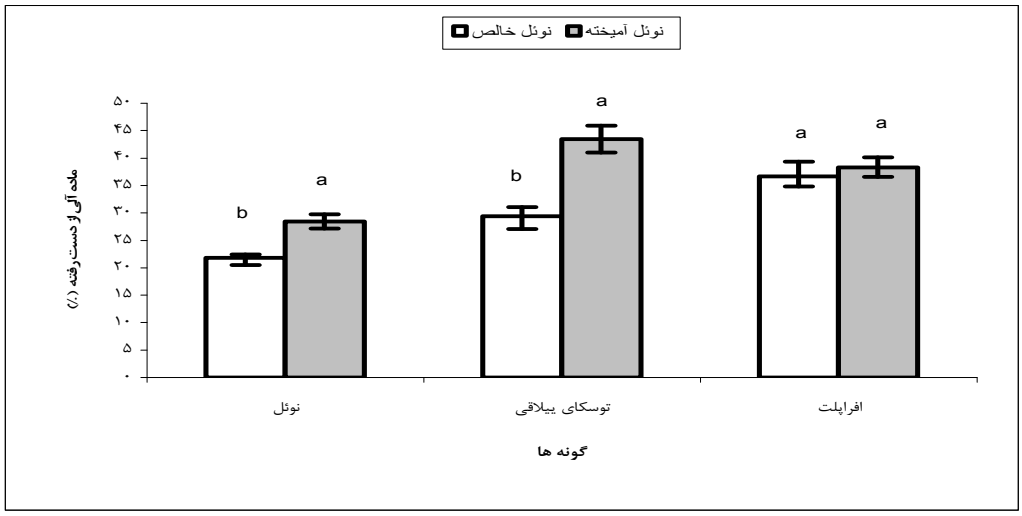
تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA) برای آزمون معنی‌دار بودن اثرات نوع لاشبرگ (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) و رویشگاه (نوئل خالص و آمیخته) بر نرخ تجزیه لاشبرگ و غلظتهای نیتروژن، کلسیم و منگنز در مرحله آخر تجزیه انجام شد، به‌طوری‌که با توجه به معنی‌دار بودن اختلافات، برای مقایسه بین گروه‌ها از آزمون مقایسه‌ای (Post Hoc) دانکن استفاده گردید. برای ارزیابی ارتباطات بین نرخهای ماده آلی از دست رفته، پوسیدگی لیگنین و تغییرات در مقادیر عناصرغذایی در مرحله آخر از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

ترکیب شیمیای لاشبرگهای تازه خزان کرده و لاشبرگها در شروع مرحله آخر تجزیه: غلظتهای اولیه لیگنین و عناصرغذایی بمیزان زیادی در میان لاشبرگها متفاوت بود، همچنین مقادیر اولیه نسبت لیگنین به نیتروژن نیز در میان لاشبرگها متفاوت بود. بغیر از لاشبرگ توسکای ییلاقی در بقیه گونه‌ها غلظتهای کلسیم از نیتروژن بیشتر بود. غلظت منگنز در لاشبرگ افراپلت نسبت به دو گونه دیگر بیشتر بود. در شروع مرحله آخر تجزیه، غلظتهای لیگنین و نیتروژن در همه لاشبرگها و در هر دو رویشگاه افزایش یافته بود. البته مقادیر نسبت لیگنین به نیتروژن نیز در تمام لاشبرگها و در هر دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته کاهش یافته بود. غلظتهای کلسیم در لاشبرگهای نوئل و افراپلت در هر دو رویشگاه و در مورد توسکای ییلاقی در رویشگاه نوئل آمیخته افزایش یافته بود. غلظتهای منگنز نیز در همه لاشبرگها و در هر دو رویشگاه افزایش یافته بود (جدول ۲).

جدول ۲- ترکیب شیمیایی لاشبرگهای تازه خزان کرده و لاشبرگها در شروع مرحله آخر تجزیه در رویشگاه‌های نوئل خالص (N) و نوئل آمیخته (M)

mg/g	نوئل	توسکای ییلاقی	افراپلت
لیگنین			
اولیه	۲۹۲/۶	۲۰۴/۷	۲۴۲/۶
مرحله آخر (N)	۳۳۱/۷	۲۷۱/۷	۲۷۶/۳
مرحله آخر (M)	۳۲۴/۳	۲۷۵	۲۶۸/۳
نیتروژن			
اولیه	۱۲/۸۴	۲۰/۸۲	۱۳/۳۴
مرحله آخر (N)	۱۶/۶۳	۲۸/۶۹	۲۰/۳۹
مرحله آخر (M)	۱۹/۲۳	۳۲/۰۸	۲۰/۰۰
L/N			
اولیه	۲۲/۷۹	۹/۹۶	۱۸/۱۸
مرحله آخر (N)	۱۹/۹۵	۹/۴۷	۱۳/۵۵
مرحله آخر (M)	۱۶/۸۶	۸/۵۷	۱۳/۴۱
منگنز			
اولیه	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۶۲
مرحله آخر (N)	۰/۰۹۹	۰/۰۹۵	۰/۱۵۹
مرحله آخر (M)	۰/۱۰۴	۰/۱۰۳	۰/۱۷۲
کلسیم			
اولیه	۹/۰۳	۲۵/۲۷	۳۴/۷
مرحله آخر (N)	۱۸/۸۹	۲۲/۵۲	۳۷/۸۸
مرحله آخر (M)	۲۱/۰۲	۲۶/۰۹	۳۷/۷۸



شکل ۲- ماده آلی از دست رفته لاشبرگ گونه‌ها (٪) در مرحله آخر تجزیه، در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته

جدول ۳- سطوح معنی‌داری (*p* values) تجزیه واریانس دو طرفه برای مقایسه اثرات نوع لاشبرگ (پهن‌برگ ـ سوزنی‌برگ) و رویشگاه (نوئل خالص ـ نوئل آمیخته) بر روی نرخ تجزیه (ML) و غلظتهای لیگنین (L)، نیتروژن (N)، منگنز (Mn) و کلسیم (Ca) در مرحله آخر تجزیه

متغیر	نوع لاشبرگ (پهن‌برگ ـ سوزنی‌برگ)	رویشگاه‌ها (نوئل خالص ـ نوئل آمیخته)	نوع لاشبرگ × رویشگاه
ML	۰	۰/۰۸۴	**۰/۰۱۱**
L	۰	۰/۶۰۱	۰/۷۸۸
N	۰	**۰/۰۴۵**	۰/۱۹۲
Mn	۰	۰/۲۶۴	۰/۹۱۷
Ca	۰	**۰/۰۳۵**	۰/۱۹۹

جدول ۴- ماتریکس همبستگی برای نرخ تجزیه (ML) و تغییرات در غلظتهای لیگنین (L)، نیتروژن (N)، منگنز (Mn) و کلسیم (Ca) در مرحله آخر تجزیه در دو رویشگاه نوئل خالص و نوئل آمیخته با لاشبرگهای پهن و سوزنی‌برگ

	رویشگاه نوئل خالص				رویشگاه نوئل آمیخته			
	ML	L	N	Mn	ML	L	N	Mn
L	-۰/۶۱				-۰/۶۷*			
N	۰/۲۸	-۰/۶۶			۰/۷۶*	-۰/۴۶		
Mn	۰/۶۷*	-۰/۲۵	-۰/۱		۰/۰۹	-۰/۵۳	-۰/۴۳	
Ca	۰/۸۷**	-۰/۵۱	-۰/۰۱	۰/۸۵**	۰/۳۹	-۰/۷۷*	-۰/۰۹	۰/۹۱**

تعداد نمونه‌ها برای رویشگاه نوئل خالص: ۳ ؛ تعداد نمونه‌ها برای رویشگاه آمیخته: ۳

*: معنی‌دار بودن در سطح $p<۰/۰۵$ **: معنی‌دار بودن در سطح $p<۰/۰۱$

جدول ۵- ماتریکس همبستگی برای نرخ تجزیه (ML) و تغییرات در غلظتهای لیگنین (L)، نیتروژن (N)، منگنز (Mn) و کلسیم (Ca) در مرحله آخر تجزیه در دو نوع لاشبرگ پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در دو رویشگاه نوئل خالص و نوئل آمیخته

	لاشبرگ سوزنی‌برگ				لاشبرگ پهن‌برگ			
	ML	L	N	Mn	ML	L	N	Mn
L	۰/۱۴				۰/۲۵			
N	۰/۸۹*	۰/۱۵			۰/۰۷	۰/۰۶		
Mn	۰/۱۷	−۰/۴۸	−۰/۰۸		۰/۰۸	۰/۱۶	−۰/۸۴**	
Ca	۰/۲۲	−۰/۶۴	۰/۰۷	۰/۶۷	۰/۲۷	۰/۰۱	−۰/۸۶**	۰/۸۸**

تعداد نمونه‌ها برای لاشبرگ سوزنی‌برگ: ۲؛ تعداد نمونه‌ها برای لاشبرگ پهن‌برگ: ۴

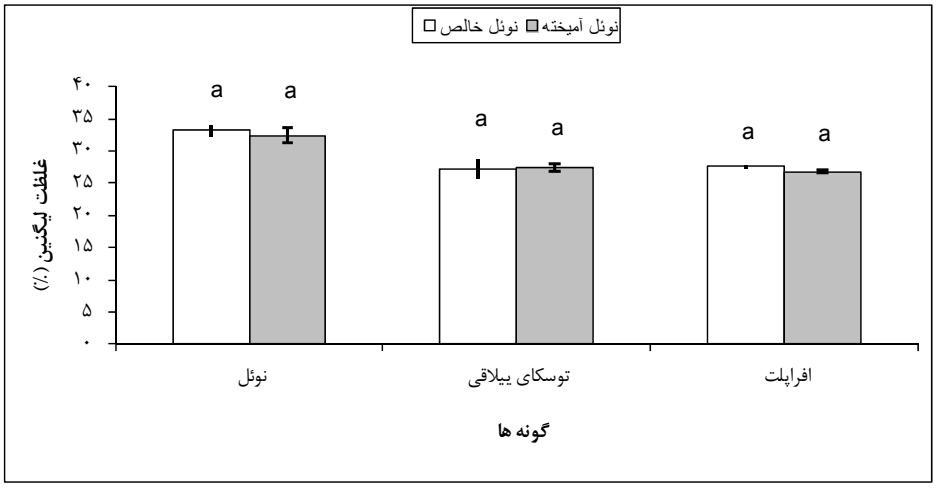
*: معنی‌دار بودن در سطح $p<۰/۰۵$ **: معنی‌دار بودن در سطح $p<۰/۰۱$

ماده آلی از دست رفته لاشبرگها و غلظت لیگنین در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته: در طول مراحل آخر تجزیه بغیر از لاشبرگ افراپلت بقیه لاشبرگها در رویشگاه نوئل آمیخته نسبت به رویشگاه نوئل خالص سریعتر تجزیه شده بودند (شکل ۲). براساس شکل ۳ مشاهده می‌شود که بین غلظت لیگنین لاشبرگها در شروع مرحله آخر در هر دو رویشگاه هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

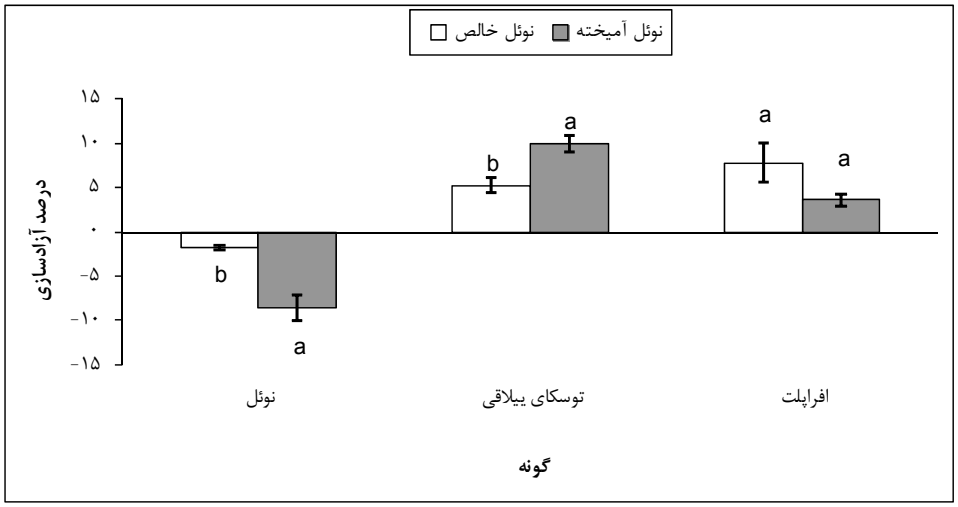
اثرات نوع لاشبرگ بر متغیرهای مورد بررسی بشدت معنی‌دار بوده اما در خصوص نوع رویشگاه فقط در مورد غلظتهای نیتروژن و کلسیم این اثرات معنی‌دار می‌باشند (به‌ترتیب $p<۰/۰۴۵$ و $p<۰/۰۳۵$ برای نیتروژن و کلسیم). اثرات متقابل نوع لاشبرگ و رویشگاه نیز فقط در مورد نرخ تجزیه معنی‌دار بود ($p<۰/۰۱۱$) (جدول ۳).

نرخهای تجزیه لاشبرگ در رویشگاه نوئل خالص همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ به‌ترتیب با غلظتهای منگنز و کلسیم دارند، در حالیکه در رویشگاه نوئل آمیخته ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و بصورت منفی و مثبت به‌ترتیب با غلظتهای لیگنین و نیتروژن وجود دارد (جدول ۴). در ارتباط با نوع لاشبرگ، در لاشبرگهای سوزنی‌برگ فقط در مورد غلظت نیتروژن ارتباط مثبت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با نرخهای تجزیه لاشبرگ وجود دارد، در صورتیکه در مورد لاشبرگهای پهن‌برگ هیچگونه ارتباطی بین نرخهای تجزیه لاشبرگ با متغیرهای مورد بررسی وجود ندارد (جدول ۵).

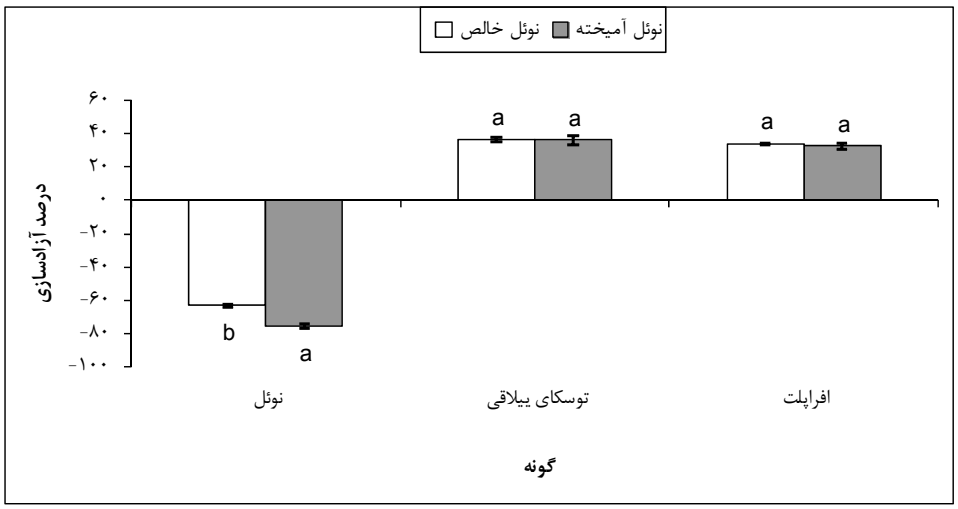
آزادسازی عناصرغذایی و ارتباطشان با نرخهای تجزیه لاشبرگ: نیتروژن در ۲ گونه پهن‌برگ برخلاف سوزنی‌برگ در هر دو رویشگاه آزاد شده است که در مورد توسکای ییلاقی این میزان در رویشگاه نوئل آمیخته نسبت به نوئل خالص بیشتر بود (شکل ۴). نرخهای تجزیه لاشبرگ با میزان آزادسازی نیتروژن در رویشگاه نوئل آمیخته (جدول ۴) و با لاشبرگ سوزنی‌برگ (جدول ۵) ارتباط مثبت معنی‌داری دارد. همانند نیتروژن، کلسیم نیز برخلاف لاشبرگ سوزنی‌برگ در دو گونه پهن‌برگ آزاد شده (شکل ۵) و فقط با نرخهای تجزیه لاشبرگ در رویشگاه نوئل خالص ارتباط معنی‌دار مثبت داشته است (جدول ۴). اما در مورد منگنز وضعیت کاملا فرق می‌کند، به‌طوری‌که در مورد هر دو نوع لاشبرگ در هر دو رویشگاه منگنز جذب شده و هیچگونه اختلاف معنی‌داری از این لحاظ بین رویشگاه‌ها مشاهده نمی‌گردد (شکل ۶). ارتباط میزان آزادسازی منگنز با نرخهای تجزیه لاشبرگ فقط در مورد رویشگاه نوئل خالص معنی‌دار و مثبت می‌باشد (جدول ۴). لیگنین در هر دو نوع لاشبرگ و در هر دو رویشگاه آزاد شده است که بغیر از لاشبرگ افراپلت، در لاشبرگهای توسکای ییلاقی و نوئل این میزان در رویشگاه نوئل آمیخته نسبت به نوئل خالص بیشتر بوده است (شکل ۷). البته میزان آزادسازی لیگنین فقط در رویشگاه نوئل آمیخته با نرخهای تجزیه لاشبرگ ارتباط معنی‌دار منفی داشته است (جدول ۴).



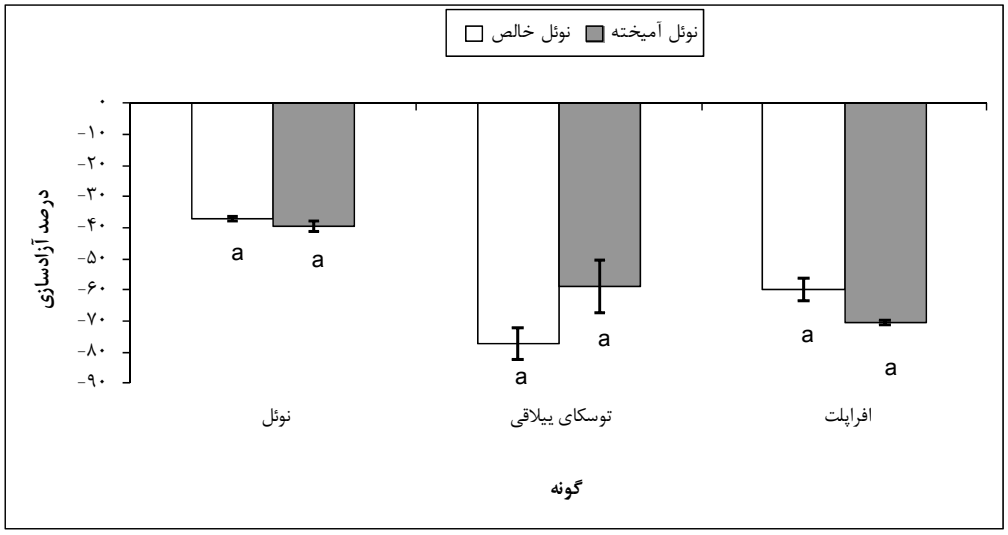
شکل ۳- غلظت لیگنین لاشبرگ گونه‌ها (٪) در مرحله آخر تجزیه، در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته



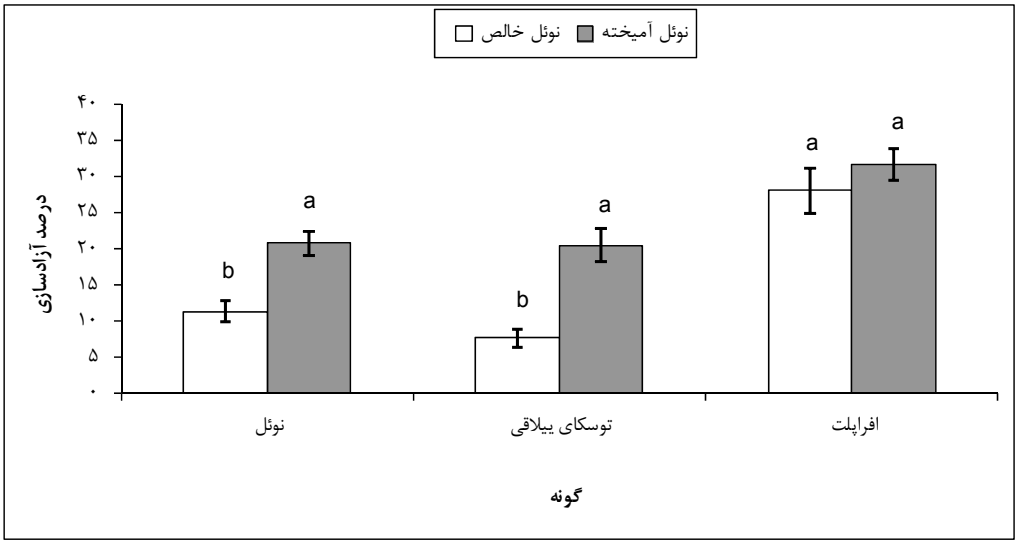
شکل ۴- پویایی نیتروژن در مرحله آخر تجزیه در سه نوع لاشبرگ در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته



شکل ۵- پویایی کلسیم در مرحله آخر تجزیه در سه نوع لاشبرگ در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته



شکل ۶- پویایی منگنز در مرحله آخر تجزیه در سه نوع لاشبرگ در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته



شکل ۷- پویایی لیگنین در مرحله آخر تجزیه در سه نوع لاشبرگ در دو رویشگاه نوئل خالص و آمیخته

بحث

بالاترین میزان نرخ تجزیه در شروع مرحله آخر در رویشگاه نوئل آمیخته مشاهده گردید که نسبت به رویشگاه نوئل خالص غنی‌تر می‌باشد. با وجود اینکه ترکیب شیمیایی لاشبرگ و اقلیم ازجمله فاکتورهای غالب تنظیم-کننده نرخ تجزیه در مقیاس محلی و منطقه‌ای بشمار می روند ولی فاکتورهایی نیز وجود دارند که در تنظیم نرخ تجزیه در مقیاس محلی ضرورت دارند. این فاکتورها وابسته به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و قابلیت در دسترس بودن عناصرغذایی خاک می‌باشند (۳). با توجه به اینکه رویشگاه‌های نوئل خالص و آمیخته از نظر فاکتورهای اقلیمی، مخصوصا درجه‌حرارت و بارندگی، وضعیت مشابهی دارند، بنظر می‌رسد که در این زمینه نقش فاکتورهای رویشگاه نظیر قابلیت در دسترس بودن عناصرغذایی خاک مهمتر باشد؛ این نتایج کاملا با یافته‌های Berg و همکاران (۲۰۰۰) و Virzo De Santo و همکاران

(۲۰۰۹) مطابقت داشت. این محققان در تحقیقات خود به این مسئله اشاره داشته و اذعان کرده بودند که اثرات اقلیم بر نرخ تجزیه لاشبرگ در مقیاس وسیع منطقه‌ای می‌باشد. در مقابل، پارامترهای کیفی لاشبرگ (نظیر L ، N ، C ، Mn، Ca ، C:N ، L:N) اهمیت زیادی در کنترل نرخ تجزیه در سطوح کوچک یعنی رویشگاه دارند (۵، ۱۲، ۱۸و ۲۴). فاکتورهای اقلیمی در کنار پارامترهای کیفی لاشبرگ، در مقیاس رویشگاه بر فعالیت میکروارگانیسمها تأثیر می‌گذارند، درحالیکه در شرایط وسیع منطقه‌ای فقط مسئله سازگاری میکروارگانیسمها مطرح است (۳۰). بنابراین فعالیت زیاد میکروارگانیسمها در رویشگاه غنی، نقش بسزایی در میزان ماده آلی از دست رفته لاشبرگها داشته است.

مرحله آخر تجزیه لاشبرگ براساس میزان تخریب و پوسیدگی لیگنین و معدنی شدن نیتروژن توصیف می‌گردد (۲۷). این مسئله در مورد لاشبرگ توسکای ییلاقی که بالاترین میزان نرخ تجزیه را در رویشگاه نوئل آمیخته بخود اختصاص داده بود، کاملا صادق می‌باشد (شکل ۲) و یافته‌های این تحقیق در خصوص اثرات متقابل نوع لاشبرگ و رویشگاه بر نرخ تجزیه، مطابق با نتایج Berg و همکاران (۱۹۹۳)، Berg و همکاران (۲۰۰۳) و Virzo De Santo و همکاران (۲۰۰۹) معنی‌دار بودن این اثرات را تأیید می‌نماید. در این مطالعه رویشگاه‌های نوئل خالص و آمیخته از نظر اثرات متغیرهای فرضی کنترل‌کننده نرخ تجزیه در شروع مرحله آخر متفاوت بودند، به‌طوری‌که در رویشگاه نوئل خالص غلظتهای منگنز و کلسیم و در رویشگاه نوئل آمیخته نیز غلظتهای لیگنین و نیتروژن اثر معنی‌داری بر نرخ تجزیه لاشبرگ داشتند (جدول ۴). بنابراین موافق با مطالعات گذشته (۳ ، ۵ ، ۸ و ۳۰) می‌توان اذعان داشت که فرایند تجزیه لاشبرگ در شروع مرحله آخر بستگی به نوع لاشبرگ و رویشگاه دارد. در ارتباط با پویایی منگنز در لاشبرگ در حال تجزیه ۲ فرضیه عمومی مطرح است. اول اینکه منگنز فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها را افزایش و بهبود می‌بخشد. دوم اینکه منگنز فرایند تجزیه لیگنین را ترقی می‌دهد (۳). براساس فرضیه اول کاهش در غلظت نیتروژن (مصرف نیترات آزاد شده بوسیله میکروارگانیسمها) مشاهده می‌گردد. میکروارگانیسم‌ها همچنین کربن زیادی را مصرف کرده، در نتیجه میزان تنفس افزایش می‌یابد (آزادسازی دی‌اکسیدکربن در اتمسفر). در ارتباط با فرضیه دوم کاهش در میزان نیترات لاشبرگ می‌تواند با اختلالاتی در فرایند نیترات‌سازی همراه باشد که همین امر می‌تواند در تجزیه و تخریب لیگنین توسط میکروارگانیسم‌ها مؤثر باشد. زیرا غلظت بالای نیتروژن، مخصوصا در مرحله آخر تجزیه، فرایند تجزیه را محدود می‌کند (۳۰). مدارک زیادی دال بر اینکه منگنز برای فعالیت آنزیمهای لیگنولتیک ضروری می‌باشد، وجود دارد. این آنزیمها تنها آنزیمهایی هستند که لیگنین را بطور کامل تجزیه می‌کنند (۳). در مطالعه حاضر ارتباط معنی‌داری بین غلظت منگنز با غلظت لیگنین مشاهده نگردید. به‌هرحال بنظر می‌رسد که اثر منگنز بر تجزیه لیگنین در این مرحله از فرایند هنوز آشکار نشده و تجزیه و تخریب لیگنین وابستگی کمتری به منگنز دارد. Virzo De Santo و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که در رویشگاه معتدله، بین غلظت کلسیم و نرخ تجزیه لاشبرگ ارتباط مثبتی وجود دارد، آنان ابراز داشتند که جذب کلسیم از هوموس در رویشگاه معتدله بیشتر از رویشگاه بوره‌آل انجام می‌گیرد. براساس نظر Blair (۱۹۸۸) کلسیم به‌عنوان نگهدارنده ترکیبات ساختاری بافتهای گیاهی شناخته شده و تنها در اثر تجزیه بافتهای گیاهی آزاد می‌شود. ولی آنچه که نتایج این تحقیق موافق با نتایج Virzo De Santo و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد برخلاف این مسئله بود، به‌طوری‌که در رویشگاه نوئل آمیخته ارتباط معنی‌دار منفی بین غلظت کلسیم و لیگنین مشاهده گردید، به‌هرحال در لاشبرگ پهن‌برگان چنین ارتباطی مشاهده نگردید (جدول ۵). در ارتباط با نوع لاشبرگ بغیر از لاشبرگ سوزنی‌برگ، که میزان نیتروژن به‌عنوان فاکتور تنظیم‌کننده نرخ تجزیه در

مرحله آخر محسوب می‌گردد، هیچ‌یک از فاکتورهای کیفی توصیفی (نیتروژن، لیگنین، منگنز و کلسیم) بر نرخ تجزیه لاشبرگ در مرحله آخر تأثیر نداشتند و همین مسئله نقش رویشگاه‌ها را با دارا بودن جوامع میکروبی گوناگون، در تجزیه لاشبرگ پررنگتر می‌کند. نتایج این مطالعه موافق با نتایج Virzo De Santo و همکاران (۲۰۰۹) و برخلاف مطالعات گذشته (۹) که تجزیه لاشبرگ سوزنی‌برگ در مرحله آخر را وابسته به ترکیبات شیمیایی لاشبرگ و آنهم فقط در رویشگاه فقیر توصیف کرده بودند، می‌باشد. در مطالعه حاضر بکارگیری دو نوع رویشگاه (فقیر و غنی) و دو نوع اصلی لاشبرگ (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) نشان داد که فرایند تجزیه در مرحله آخر بوسیله فاکتورهای مختلفی که بستگی به نوع لاشبرگ و نوع جنگل که تعیین‌کننده‌های اصلی الگوی تجزیه هستند، دارد.

منابع

1-Andersson, S., Nilsson, SI., Saetre, P., 2000. Leaching of DOC and DON in mor humus as affected by temperature and pH. Soil Biol Biochem. 32:1–10.

2-Berg, B., Ekbohm, G., 1983. Nitrogen immobilization in decomposing needle litter at variable carbon: nitrogen ratios. Ecology. 64:63–67.

3-Berg, B., McClaugherty, C., 2008. Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration, 2nd edn. Springer Verlag Heidelberg, Berlin.

4-Berg, B., Staaf, H., 1981. Leaching, accumulation and release of nitrogen from decomposing forest litter. In: Terrestrial Nitrogen Cycles. Processes, Ecosystem Strategies and management Impact. Ecol Bull (Stockh). 33:163–178.

5-Berg, B., McClaugherty, C., Johansson, M-B., 1993. Litter mass loss rate in late stages of decomposition at same climatically and nutritionally different pine sites. Long-term decomposition in a Scots pine forest VIII. Can J Bot. 71:680–692.

6-Berg, B., Ekbohm, G., Johansson, M-B., McClaugherty, C., Rutigliano, FA., Virzo De Santo, A., 1996. Maximum decomposition limits of forest litter types - a synthesis.

7-Berg, B., McClaugherty, C., Johansson, M-B., 1997. Chemical changes in decomposing plant litter can be systemized with respect to the litters initial. Reports from the Departments in Forest Ecology and Forest Soil, Swedish University of Agricultural Science. Report. 4:85.

8-Berg, B., Johansson, M-B., Meentemeyer, V., 2000. Litter decomposition in a transect of Norway spruce forests: substrate quality and climate control of mass-loss rates. Can J Res. 30:1136–1147.

9-Berg, B., Virzo De Santo, A., Rutigliano, FA., Fierro, A., Ekbohm, G., 2003. Limit values for plant litter decomposing in two contrasting soils—influence of litter elemental composition. Acta Oecol. 24:295–302.

10-Berg, B., Steffen, K., McClaugherty, C., 2007. Litter decomposition rates as dependent on litter Mn concentration. Biogeochemistry. 85:29–39.

11-Blair, JM., 1988. Nutrient release from decomposing foliar litter of three tree species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. Plant Soil. 110:49–55.

12-Bray, J.R. & Gorham, E., 1964. Litter production in forests of the world. Advances in Ecological esearch. 2: 101–157.

13-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. Part2. Chemical and Microbiological Properties. ASA,SSSA,Madison, WI,pp 595-624.

14-Davey, M., Berg, B., Emmett, B., Rowland, P., 2007. Controls of foliar litter decomposition and implications for C sequestration in oak woodlands. Can J Bot. 85:16–24.

15-Eriksson, K-E., Blanchette, RA., Ander, P., 1990. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer Series in Wood Science. Springer Verlag, Berlin.

16-Fog, K., 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. Biol Rev Camb Philos Soc. 63:433–462.

17-Goering, HK., Van Soest, PJ., 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agricultural Handbook No. 379

18-Heal, O.W., Anderson, J.M., 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.

19-Hobbie, SE., 2000. Interactions between litter lignin and soil nitrogen availability during leaf litter decomposition in a Hawaiian montane forest. Ecosystems (N Y, Print). 3:484–494.

20-Hobbie, SE., Vitousek, PM., 2000. Nutrient limitation of decomposition in Hawaiian montane forests. Ecology. 81:1867–1877.

21-Hobbie, SE., Reich, PB., Oleksyn, J., Ogdahl, M., Zytkowiak, R., Hale, C., Karowleski, P., 2006. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. Ecology. 87:2288–2297.

22-Hofrichter, M., 2002. Review: Lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). Enzyme Microb Technol. 30:454–466.

23-Issac, R.A., Johnson, W.C., 1975. Colloborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. J.Assoc.Agri.chem., 58-436.

24-Meentemeyer, V., 1986. The geography of organic decomposition rates. Annals of the Association of American Geographers. 74(4): 551–559.

25-Persson, T., Wessen, P., Lundkvist, H., Wiren, A., Hyvönen, R., 1989. Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. Water Air Soil Pollut. 45:77–96.

26-Piccolo, A., Spaccini, R., Haberhauer, G., Gerzabek, MH., 1999. Increased sequestration of organic carbon in soil by hydrophobic protection. Naturwissenschaften. 86:496–499.

27-Prescott, C., 2005. Decomposition and Mineralization of Nutrients from Litter and Humus. Ecological Studies, 181: 15-41.

28-Simmons, JA., Yavitt, JB., Fahey, TJ., 1996. Liming effects on N dynamics of a northern hardwood forest floor. Biogeochemistry. 32:221–244.

29-Virzo De Santo, A., Rutigliano, FA., Berg, B., Fioretto, A., Fierro, AR.,1998. Nitrogen dynamics of decomposing needle litters in three coniferous forests of the Mediterranean area. Fresen Environ Bull. 7:510–517.

30-Virzo De Santo,A., De Marco,A., Fierro,A., Berg, B., Rutigliano, F.A., 2009. Factors regulating litter mass and lignin degradation in late decomposition stages. Plant and Soil. 318:217-228.

Study of the relationship between nutrients dynamics and chemical composition of litter with decomposition rate in late decomposition stages

Aghbash F.Gh.[1], Jalali Gh.A.[2], V.Hosseini[3], M.Hosseini[2], B.Berg[4]

[1] **Faculty of Natural Resources and Environmental Science, Malayer University, Malayer, I.R. of Iran**

[2] **Faculty of Forestry and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. of Iran**

[3] **Faculty of Forestry, Kordestan University, Sanandaj, I.R. of Iran**

[4] **Forest Ecology Dept., University of Helsinki, Helsinki, Finland**

Abstract

The late stage of decomposition process was found to be when decomposition and degradation of lignin had occurred, i.e. at about 1 year after the process begins. The regulating factors for degradation of lignin, and thus of litter, in late decomposition stages are less known and we know very little about how they vary considering litter species and sites with different climatic and edaphic conditions. Therefore, this study was done in order to determine the control way of lignin decay, and thus of litter mass-loss rate, by N, Ca and Mn in leaf litters of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst), Alder (*Alnus subcordata* C.A.Meyer) and Maple (*Acer velutinum* Boiss.) in pure and mixed Norway spruce sites after 400 days in lajim region. The results showed that decomposition rates of litter species except Maple, in mixed Norway spruce site were significantly higher than pure Norway spruce site. In the pure Norway spruce site, decomposition rates of litter were positively and significantly correlated with Mn and Ca concentrations, but there was no significant correlation between Mn and Ca concentrations with lignin concentration. In the mixed Norway spruce site, decomposition rates of litter had significantly positive and negative correlation with N and lignin concentrations respectively. Also in this site, there was a negative and significant correlation between Ca and lignin concentrations. In relation with litter type, exclusive of needle litter, in which nitrogen amount is the important regulating factor, none of descriptive and qualitative factors (N, lignin, Mn and Ca) had not effect on the decomposition in late stage.

Key words: Litter decomposition, Concentrations of N, Mn, Ca and Lignin, Pure Norway spruce site, Mixed Norway spruce site