

## پویایی عناصر غذایی لاشبرگ نوئل (*Picea abies* (L) Karst) آمیخته با لاشبرگ گونه‌های راش (*Fagus orientalis* lipsky)، توسکا (*Alnus subcordata* C.A.Meyer) و پلت (*Acer velutinum* Boiss.) در توده دست کاشت نوئل منطقه لاجیم

فرهاد قاسمی آقباش<sup>۱</sup>، سیدغلامعلی جلالی<sup>۲\*</sup>، وحید حسینی<sup>۳</sup>، سیدمحسن حسینی<sup>۲</sup> و بیورن برگ<sup>۴</sup>

\*۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور. پست الکترونیک: gholamalij@yahoo.com

۳- استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، سنندج

۴- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.

۵- دکترا، دانشکده کشاورزی و جنگل‌داری، دانشگاه هلسینکی، فنلاند

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۹

### چکیده

تجزیه لاشبرگ‌های گیاهی نقش مهمی در حاصل‌خیزی خاک جنگل، به‌واسطه چرخه عناصر غذایی و تشکیل مواد آلی خاک دارد. تجزیه لاشبرگ، بازگشت عناصر غذایی برگ‌ها به خاک و تأمین عناصر مورد نیاز برای رشد گیاهان را به‌دنبال دارد. در واقع قابلیت دسترسی عناصر غذایی به‌میزان زیادی ناشی از پویایی عناصر غذایی لاشبرگ در خاک می‌باشد. در این مطالعه پویایی عناصر غذایی لاشبرگ نوئل در حالت خالص و آمیخته برای تعیین این مسئله که آیا ترکیب لاشبرگ نوئل با لاشبرگ پهن‌برگان در پویایی عناصر غذایی آن تأثیری دارد یا نه مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته با لاشبرگ‌های راش، پلت و توسکا در توده دست‌کاشت نوئل خالص با استفاده از روش Litter Bag به‌مدت ۴۰۰ روز در منطقه لاجیم مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها در خصوص پویایی نیتروژن، پتاسیم و منیزیم مثبت، منگنز و لیگنین بی‌اثر و کلسیم منفی بود. همچنین یافته‌های این تحقیق نشان داد که در مورد هر سه ترکیب نوئل با پهن‌برگان میزان معدنی‌سازی نیتروژن نسبت به نوئل خالص بیشتر بود. در حالی که میزان معدنی‌سازی منگنز در پایان دوره به‌غیر از ترکیب نوئل با راش در بقیه ترکیب‌ها منفی بود.

واژه‌های کلیدی: اثرهای غیرافزایشی، تجزیه لاشبرگ، لاشبرگ‌های آمیخته، معدنی‌سازی، نوئل.

### مقدمه

پویایی (تغییرات در ترکیب شیمیایی لاشبرگ در طول فرایند تجزیه) از دو منظر مورد بررسی قرار می‌گیرد، تغییرات در ترکیب آلی و غیرآلی (Berg and McLaugherty, 2008). سه الگوی اصلی در مورد غلظت‌های عناصر غذایی لاشبرگ‌های در حال تجزیه مشاهده شده که براساس معدنی‌سازی و تجمع عناصر غذایی پایه‌گذاری شده‌اند. برخی از عناصر به‌کندی آزاد

تجزیه لاشبرگ فرایند اساسی در اکوسیستم‌های جنگلی است که براساس آن چرخه مواد غذایی، آزادسازی دی‌اکسید کربن در اتمسفر و معدنی شدن عناصر غذایی تنظیم می‌گردد. نرخ تجزیه لاشبرگ به‌میزان زیادی به‌وسیله خصوصیات شیمیایی آن، به‌ویژه غلظت لیگنین و سطوح عناصر غذایی تعیین می‌گردد. مطالعه

به طوری که افزایش تثبیت عناصر غذایی در لاشبرگ یا بعکس افزایش معدنی سازی در خاک اثرهایی را بر رویش گیاهان یا رقابت در میان گونه‌ها خواهد داشت (Finzi & Canham, 1998). مطالعه حاضر با هدف بررسی پویایی عناصر غذایی لاشبرگ نوتل زمانی که با لاشبرگ پهن برگان آمیخته می‌شود، انجام شد. در این تحقیق فرض گردید که اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها با توجه به ترکیب شیمیایی هر یک از لاشبرگ‌های موجود در ترکیب متفاوت است.

نرخ پوسیدگی و پویایی نیتروژن در لاشبرگ‌های ترکیبی *Pinus densiflora-Quercus serrate* به مدت یک سال با استفاده از تکنیک کیسه لاشبرگ با هدف تعیین اثرهای ترکیب لاشبرگ دو گونه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت توسط (Salamanca et al., 1998) مورد بررسی قرار گرفت. آنها دریافتند که نرخ پوسیدگی لاشبرگ‌های ترکیبی هر دو گونه در مقایسه با تک‌گونه‌ها بیشتر بود. همچنین میزان نیتروژن مشاهده شده در لاشبرگ کاج از میزان مورد انتظار آن بیشتر بود، در حالی که مقادیر مشاهده شده در بلوط از میزان مورد انتظار در لاشبرگ خالص کمتر بود. (Thelin et al., 2002) وضعیت عناصر غذایی لاشبرگ نوتل و خصوصیات شیمیایی خاک معدنی را در توده‌های خالص و آمیخته نوتل، راش-توس و نوتل-بلوط در جنوب سوئد (۲۷ رویشگاه) و شرق دانمارک (سه رویشگاه) بررسی کرده و دلایل امکان استفاده از توده‌های آمیخته به عنوان یک روش مطلوب در مدیریت جنگل را ارائه کردند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان داد که سوزن‌های نوتل در توده‌های آمیخته از لحاظ غلظت‌های Na، P، K و Zn بیشتر از توده‌های خالص نوتل بود. (Perez-Corona et al., 2006) پویایی تجزیه لاشبرگ سه گونه توسکا، ون و صنوبر را در طول ۴۸۵ روز در ایالت Guadalajara اسپانیا با استفاده از تکنیک کیسه لاشبرگ مطالعه کردند. براساس مطالعات

شده و نسبت به ماده آلی از دست رفته، به طور خطی افزایش می‌یابند. عناصر دیگر ممکن است به طور سریع از لاشبرگ شسته شوند این عناصر ارتباط خطی یا منحنی و به صورت منفی با ماده آلی از دست رفته دارند. سرانجام برخی از عناصر هستند که یا قویاً نگهداری می‌شوند و یا اینکه به راحتی به طرف ترکیب لاشبرگ-میکروارگانوسم حرکت می‌کنند، در نتیجه یک افزایش نمایی (exponential) در غلظتشان مشاهده می‌شود (Berg & McClagherty, 2008). در شرایط طبیعی لاشبرگ گونه‌های مختلف باهم آمیخته شده و در کنار هم تجزیه می‌شوند. با این حال مطالعات کمی در مورد چگونگی تاثیر لاشبرگ‌های آمیخته بر تجزیه و پویایی عناصر غذایی، انجام شده است (Gartner & Cardon, 2004; Hättenschwiler, 2005). نتایج چنین مطالعاتی به طور متناقض آثار مثبت، منفی و بی اثر را نشان داده‌اند. منطبق موجود در ورای تاثیر ترکیب لاشبرگ‌ها بر فرایند تجزیه این است که امکان انتقال عناصر غذایی از لاشبرگ با کیفیت بالا به لاشبرگ با کیفیت پایین منجر به تجزیه سریع لاشبرگ سرسخت در تجزیه می‌شود. به هر حال، تغییرات مشاهده شده در پویایی عناصر غذایی لاشبرگ-های آمیخته اغلب تأثیرشان در ایجاد تغییرات در تجزیه، همیشگی نمی‌باشد. به علاوه ارتباطات موجود در لاشبرگ-های آمیخته همیشه براساس اختلافات موجود در خصوصیات شیمیایی لاشبرگ‌های انفرادی قابل توصیف نمی‌باشد (Maisto et al., 2010). در سطح اکوسیستم، اثرهای غیرافزایشی (non-additive effects) یعنی اینکه اختلافات در کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها منجر به اثرهایی در لاشبرگ آمیخته گونه‌ها می‌شود که ممکن است در برخی متفاوت با آنچه که در مورد لاشبرگ تک گونه‌ها رخ می‌دهد بر همدیگر اثر بگذارند) لاشبرگ‌های آمیخته بر پویایی عناصر غذایی ممکن است دربرگیرنده تغییراتی در قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی برای گیاهان باشد،

اطلاعات هواشناسی ایستگاه کلیماتولوژی افراچال (۲۰۰۳-۱۹۶۴) که نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه است، میانگین متوسط درجه حرارت روزانه ۱۷٫۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۸۷۸٫۴ میلی-متر بود. اقلیم منطقه براساس فرمول گسترش‌یافته دومارتن از نوع اقلیم معتدل مرطوب می‌باشد. براساس خصوصیات کلی خاک‌شناسی منطقه مورد بررسی، خاک تکامل نیافته سطحی با تیپ راندزین همراه با قهوه‌ای کالسیمورف، دارای تیپ پروفیلی AC تا A(B)C، pH قلیایی ضعیف تا خنثی، سنگ مادر آهکی، بافت خاک رسی، نفوذپذیری خاک ضعیف، زهکشی نامطلوب و ریشه‌دوانی متوسط است (Radai, 1998).

#### روش تحقیق

لاشبرگ گونه‌های راش، توسکا، پلت و سوزن‌های نوئل در فصل خزان و بلافاصله بعد از افتادن و قبل از هرگونه بارندگی به‌طور دستی از کف جنگل جمع‌آوری گردید. به‌همین منظور قبل از شروع فصل خزان در توده‌های مورد نظر چهار نقطه جمع‌آوری لاشبرگ مشخص شده و لاشبرگ‌های مربوط به سالهای قبل پاک‌سازی شده تا لاشبرگ‌های تازه خزان کرده از این نقاط جمع‌آوری گردد. لازم به ذکر است که سوزن‌های نوئل از روی شاخه و از تمامی جهات تاج جمع‌آوری شدند. لاشبرگ‌ها و سوزن‌های جمع‌آوری شده در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شدند. سپس براساس نوع لاشبرگ از همدیگر تفکیک شدند. در این مطالعه از تکنیک Litterbag استفاده شد (Berg & McClaugherty, 2008). ابعاد کیسه‌های لاشبرگ به‌کار برده شده در این تکنیک ۲۰×۳۰ سانتی‌متر با روزنه دو میلی‌متر از جنس نایلون و با توجه به اهداف مطالعه به‌صورت دوجیبه برای لاشبرگ-

آنها توسکا بیشترین غلظت نیتروژن در لاشبرگ را داشت و الگوی تجزیه و آزادسازی عناصر غذایی در آن در مقایسه با دو گونه دیگر متفاوت بود. بررسی اثرهای درختان خزان‌کننده بر کیفیت لاشبرگ، نرخ تجزیه و چرخه عناصر غذایی لاشبرگ در توده‌های کاج توسط Polyakova & Billor (2007) انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که لاشبرگ‌های ترکیبی بالاترین میزان نرخ تجزیه و غلظت N و پایین‌ترین میزان نسبت C:N را در مقایسه با لاشبرگ خالص کاج داشتند. در این بررسی گونه‌های خزان‌کننده به‌ویژه ممرز، بلوط و صنوبر به‌عنوان گونه‌های مؤثر در چرخه عناصر غذایی در توده‌های کاج مورد توجه قرار گرفتند. (Maisto et al., 2010) پویایی عناصر غذایی لاشبرگ را در لاشبرگ‌های ترکیبی چهار گونه مدیترانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که ترکیب لاشبرگ‌ها بر پویایی عناصر N، Mn، Ca، Mg، Fe، Cu و Zn تأثیر داشته و اثرهای آن بستگی به ترکیب گونه‌ای در لاشبرگ‌های آمیخته دارد. (Rouhi-Moghaddam et al., 2008) وضعیت عناصر غذایی برگ‌های زنده و لاشبرگ توده‌های خالص و آمیخته بلندمازو و آزاد در شمال کشور (نور) را مورد مقایسه قرار دادند. براساس یافته‌های آنها غلظت‌های N، P، K و Mg در لاشبرگ درختان بلوط در برخی از توده‌های آمیخته بیشتر از توده‌های خالص بود.

#### مواد و روشها

##### منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام این تحقیق توده دست‌کاشت نوئل خالص در منطقه لاجیم انتخاب گردید. ارتفاع از سطح دریا ۹۶۵ متر، شیب عمومی ۲۰ درصد و جهت عمومی شمالی بود. منطقه مورد مطالعه در ناحیه البرز مرکزی جنگلهای تحت مدیریت اداره کل منابع طبیعی ساری و در محدوده شهرستان سوادکوه قرار دارد. براساس

روش کج‌جدال (Bremner & Mulvaney, 1982)، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و منگنز با روش طیف‌سنجی اتمی و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج اتمی اندازه‌گیری شدند (Issac & Johnson, 1975). لیگنین لاشبرگ نیز از طریق روش کلاسون (Klason) و به‌وسیله هضم در اسیدسولفوریک ۷۲ درصد اندازه‌گیری شد. میزان معدنی-سازي عناصر غذایی در طول مدت انکوباسیون از طریق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$R(\%) = [W_0C_0 - W_1C_1 / W_0C_0] \times 100$$

که در آن  $R(\%)$ : میزان معدنی‌سازی عناصر غذایی،  $W_0$ : وزن خشک اولیه،  $W_1$ : وزن خشک باقیمانده،  $C_0$ : غلظت عناصر غذایی (mg/g) در لاشبرگ اولیه،  $C_1$ : غلظت عناصر غذایی (mg/g) بعد از جمع‌آوری می‌باشد (Guo & Sims, 1999).

مقایسه مقادیر عناصر غذایی لاشبرگ گونه‌های مختلف از طریق آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) برای مقایسه کلی و آزمون دانکن برای مقایسات چندگانه انجام شد. تمامی آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS v.17 و در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام گردید.

## نتایج

به‌منظور تفکیک تأثیر کیفیت لاشبرگ در ارتباطات متقابل لاشبرگ‌ها در حالت آمیخته و تشخیص اینکه آیا گونه‌های مورد مطالعه از کیفیت اولیه لاشبرگ متفاوت هستند، سنجش‌های مربوط به تعیین کیفیت اولیه لاشبرگ-ها در چهار تکرار انجام شد (جدول ۱).

براساس جدول ۱ مشاهده می‌شود که لاشبرگ نوئل از نظر کیفیت اولیه با لاشبرگ پهن‌برگان متفاوت است. به‌طوری که از نظر میزان کلسیم، منیزیم و لیگنین حداقل غلظت را به‌خود اختصاص داده است.

های ترکیبی و تک‌جبهه برای لاشبرگ‌های انفرادی بود. تعداد ۸۰ کیسه‌لاشبرگ (۴ تیمار  $\times$  ۴ تکرار  $\times$  ۵ نوبت برداشت از عرصه، تیمارها شامل سه کیسه لاشبرگ ترکیبی با نسبت مساوی نوئل+راش، نوئل+توسکا و نوئل+پلت و یک کیسه لاشبرگ نوئل خالص) آماده گردید. در هر کیسه در حدود ۱۰ گرم نمونه لاشبرگ خشک شده در فضای آزمایشگاه با توجه به اهداف تحقیق قرار داده شد. قبل از نصب کیسه‌ها در عرصه، به‌منظور ارزیابی میزان رطوبت اولیه، سطوح اولیه عناصر غذایی لاشبرگ‌ها از هر نمونه لاشبرگ ۵ گرم زیرنمونه انتخاب شد و در آن ۶۵ درجه‌سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شد و سنجش‌های مربوطه انجام گرفت. قبل از نصب کیسه‌ها برچسبی شامل نام گونه و وزن اولیه لاشبرگ تهیه شده و در داخل کیسه لاشبرگ‌ها قرار داده شد. کیسه‌های لاشبرگ آماده شده با استفاده از میخ‌های آهنی ۱۵ سانتی‌متری برای جلوگیری از جابجایی آنها، در توده دست‌کاشت نوئل (در چهار نقطه) نصب شدند. به‌منظور جلوگیری از خسارت‌های پستانداران منطقه نظیر گراز، تشی، گاو و غیره مناطق نصب کیسه لاشبرگ‌ها توسط چپرکشی محصور گردید. برداشت کیسه‌های لاشبرگ در فواصل زمانی ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۴۰۰ روز انجام شد. کیسه لاشبرگ‌ها بعد از جمع‌آوری بسرعت 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 آن ۶۵ درجه-سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در ادامه با استفاده از آسیاب خرد شدند. سپس آنالیزهای شیمیایی در چهار تکرار بر روی هر نمونه لاشبرگ برای تعیین عناصر غذایی نظیر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و منگنز و همچنین لیگنین انجام شد. سنجش نیتروژن با استفاده از

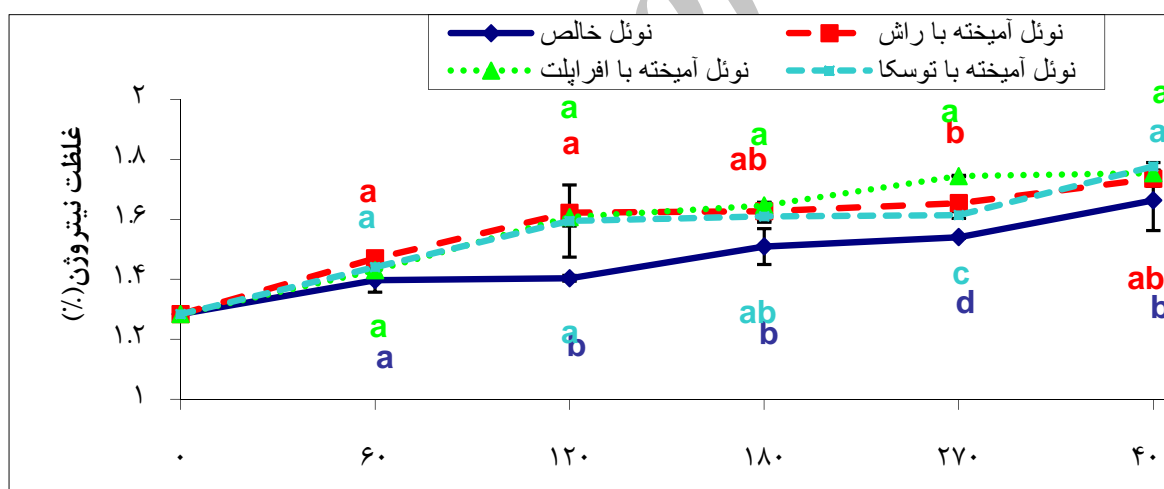
جدول ۱- کیفیت اولیه لاشبرگ گونه‌های مورد مطالعه (mg/g)\*

نوع لاشبرگ	نیترژن	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	منگنز	لیگنین
	اشتباه معیار ±	اشتباه معیار ±	اشتباه معیار ±	اشتباه معیار ±	اشتباه معیار ±	اشتباه معیار ±
	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین
نوئل	۱۲/۸۴±۰/۱b	۹/۷۶±۰/۱۳b	۹/۰۳±۰/۱c	۱/۵±۰/۰۷c	۰/۰۵۵±۰/۰۳bc	۲۹۲/۶±۹ a
پلت	۱۳/۳۴±۰/۲۳b	۱۱/۰۳±۰/۳۳a	۳۴/۷±۰/۱۴a	۴/۳±۰/۰۵a	۰/۰۶۲۵±۰/۰۰۳b	۲۴۲/۶±۱/۴ c
راش	۱۰/۴۹±۰/۰۱c	۹/۸۵±۰/۶۱ab	۱۰/۴۲±۰/۴۲c	۳/۰۳±۰/۰۳b	۰/۰۲۱۲±۰/۰۱a	۲۷۰/۶±۵/۲ b
توسکا	۲۰/۸۲±۰/۲۱a	۷/۱۴±۰/۱۹c	۲۵/۲۷±۰/۸۸b	۳/۱۵±۰/۰۷b	۰/۰۴±۰/۰۰۲c	۲۰۴/۷±۲/۹ d

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

به‌طور خطی نسبت به طول مدت تجزیه افزایش می‌یابد. در پایان دوره نیز میزان غلظت آن در لاشبرگ نوئل در حالت آمیخته نسبت به حالت خالص اختلافات معنی‌داری را در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان داد.

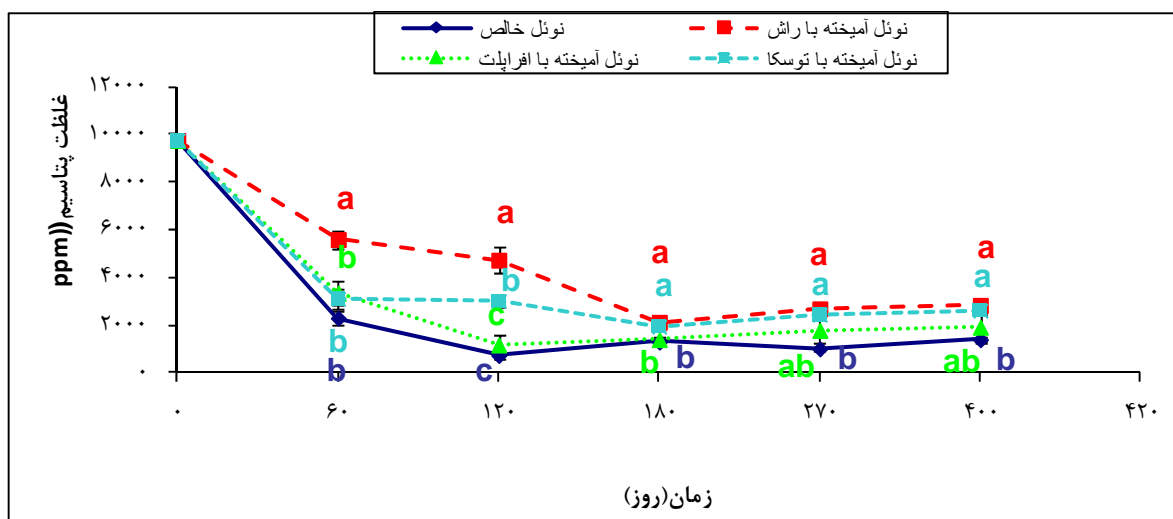
تغییرات در غلظت عناصر غذایی لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته براساس شکل ۱ مشاهده می‌شود که میزان غلظت نیترژن لاشبرگ نوئل چه در حالت خالص و چه آمیخته



شکل ۱- تغییرات غلظت نیترژن (درصد) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

در پایان دوره بیشترین کاهش غلظت مربوط به لاشبرگ نوئل خالص بود (شکل ۲).

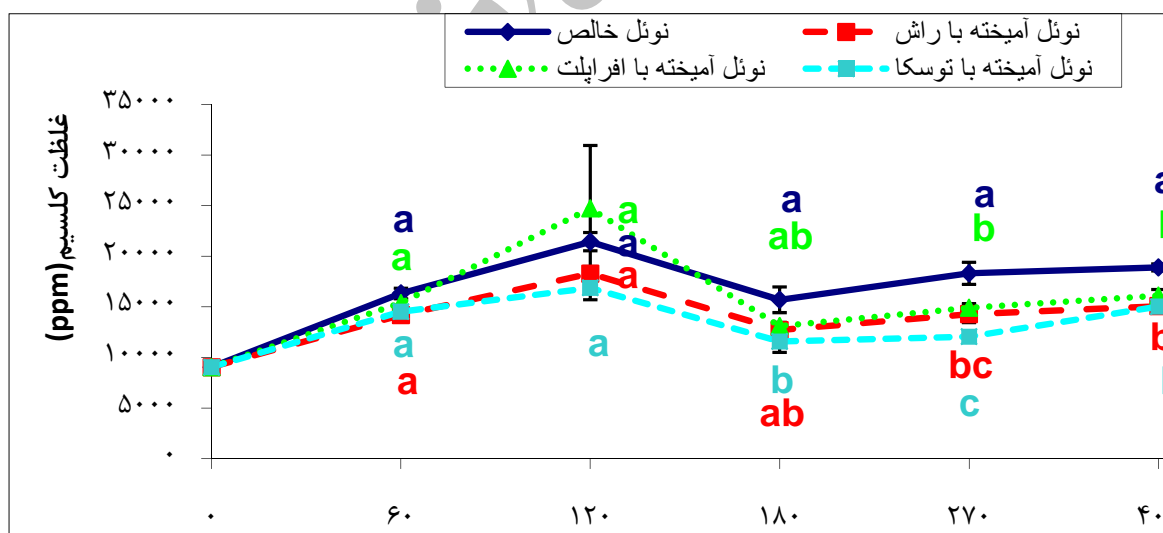
تغییرات غلظت پتاسیم در طول مدت تجزیه نشان داد که غلظت این عنصر خیلی سریع در اثر شستشوی شدید از لاشبرگ کاهش می‌یابد، به‌طوری که



شکل ۲- تغییرات غلظت پتاسیم (ppm) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

مشاهده نمی‌شود. اما در پایان دوره غلظت کلسیم در حالت خالص نسبت به حالت‌های آمیخته بیشتر بود. حالت‌های آمیخته نوئل با پهن‌برگان هیچ اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند.

براساس شکل ۳ مشاهده می‌شود که غلظت کلسیم در هر دو حالت خالص و آمیخته در چهار ماه اول فرایند تجزیه افزایش یافته است. در این مدت بین غلظت کلسیم در حالت‌های خالص و آمیخته هیچ اختلاف معنی‌داری

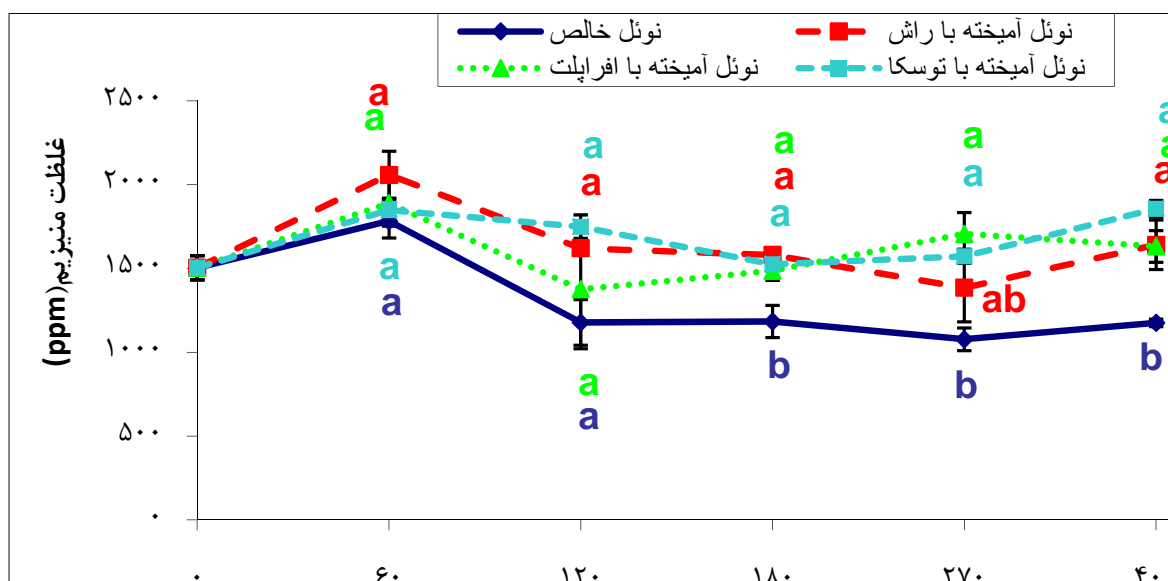


شکل ۳- تغییرات غلظت کلسیم (ppm) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

غلظت منیزیم در چهار ماه اول تجزیه بین حالت‌های خالص و آمیخته هیچ اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. اما

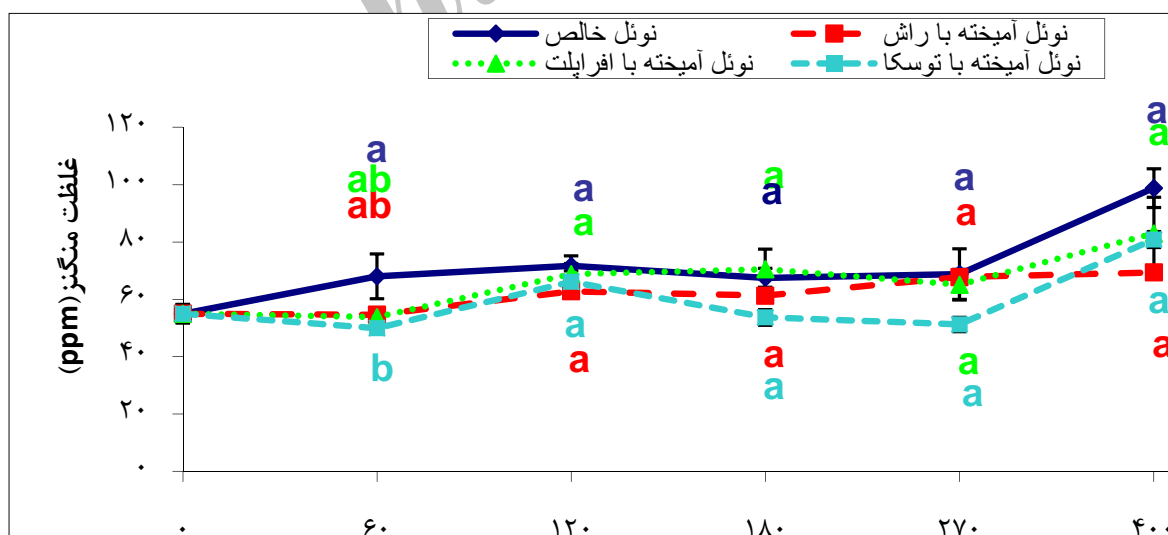
منیزیم نیز همانند پتاسیم در طول مدت زمان تجزیه با کاهش غلظت (البته با شدت کمتر) مواجه شده است.

در پایان دوره حالت‌های آمیخته نوئل نسبت به حالت خالص از میزان منیزیم بیشتری برخوردار بودند (شکل ۴).



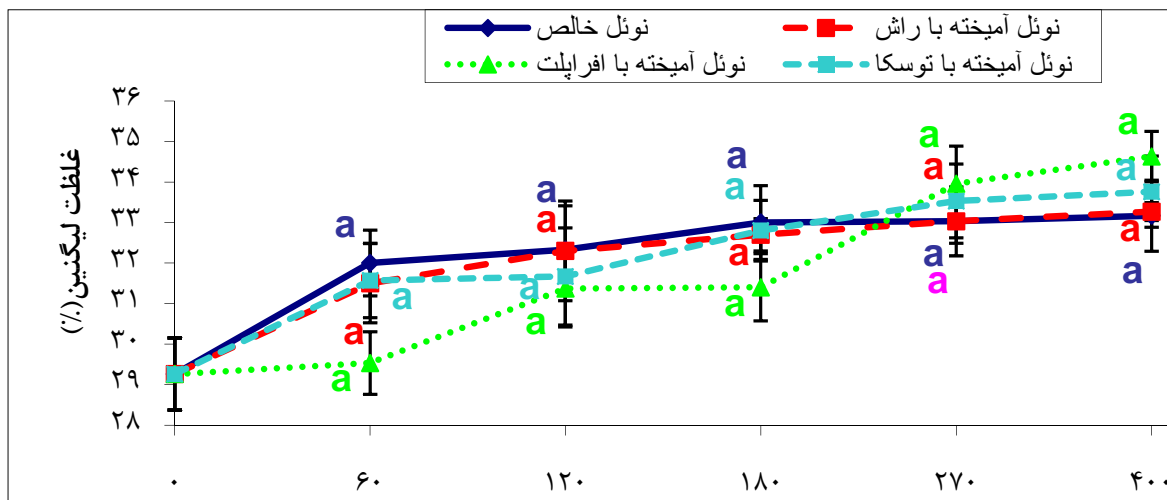
شکل ۴- تغییرات غلظت منیزیم (ppm) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

تغییرات غلظت منگنز نشان داد که غلظت آن در طول مدت زمان انکوباسیون به‌طور نمایی افزایش می‌یابد. در طول فرایند تجزیه بین غلظت منگنز در حالت‌های خالص و آمیخته نوئل هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۵).



شکل ۵- تغییرات غلظت منگنز (ppm) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

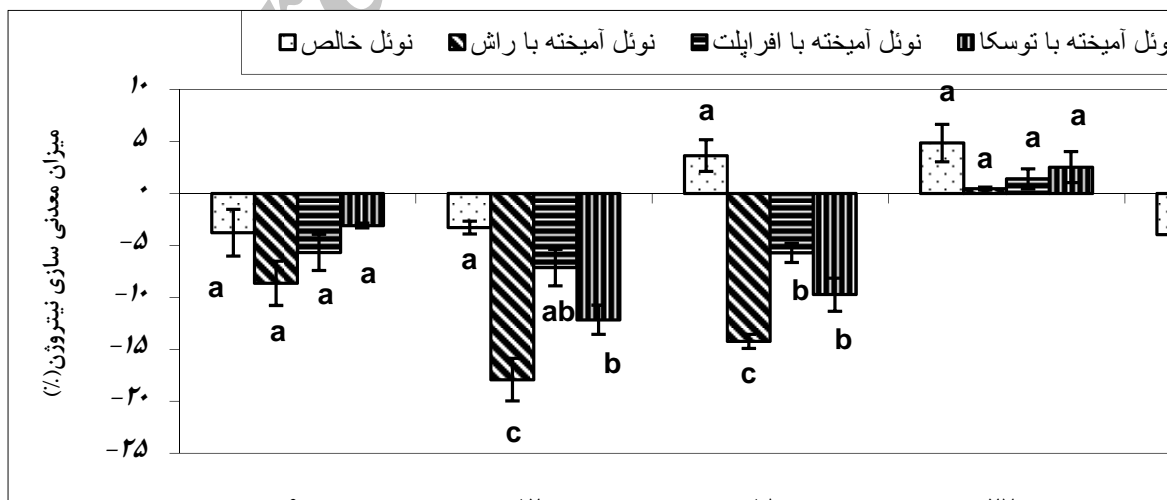
در شکل ۶ مشاهده می‌شود که غلظت لیگنین در تمامی حالت‌ها با گذشت زمان افزایش یافته است. اما هیچ اختلاف معنی‌داری میان گونه‌ها از لحاظ غلظت لیگنین مشاهده نمی‌گردد.



شکل ۶- تغییرات غلظت لیگنین (درصد) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

همان‌طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در مراحل اولیه فرایند تجزیه معدنی‌سازی نیتروژن انجام نمی‌شود. اما در پایان دوره در مورد هر سه ترکیب نوئل با پهن-برگان میزان معدنی‌سازی نیتروژن نسبت به نوئل خالص بیشتر بود.

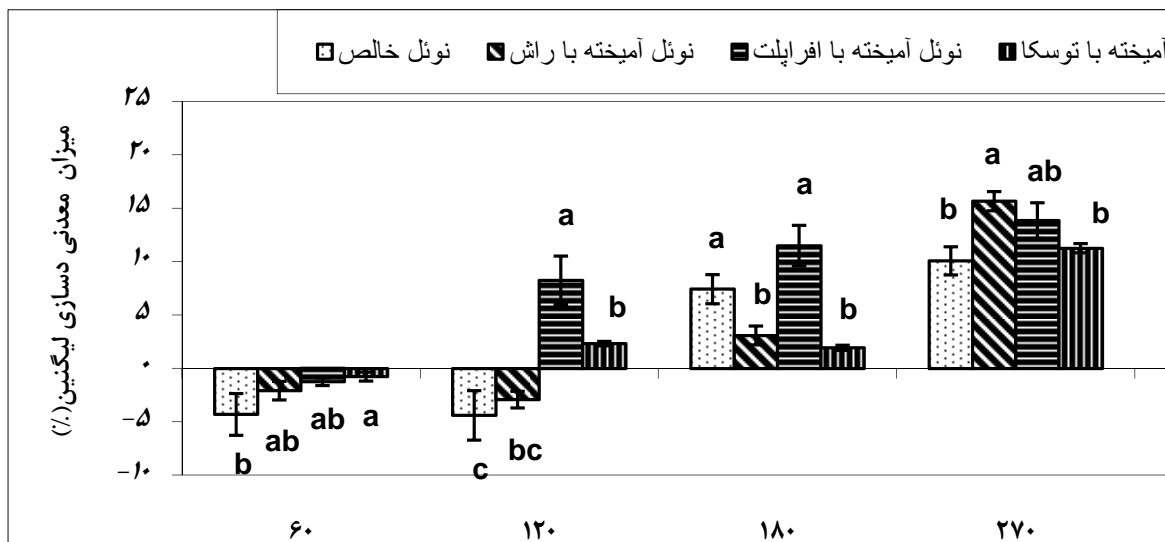
معدنی‌سازی نیتروژن، منگنز و لیگنین در طول فرایند تجزیه با توجه به اینکه نیتروژن، منگنز و لیگنین از جمله فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده فرایند تجزیه به‌ویژه در مراحل آخر هستند، به‌همین دلیل میزان معدنی‌سازی هر سه فاکتور محاسبه و در شکل‌های مربوطه آورده شد.



شکل ۷- میزان معدنی‌سازی نیتروژن (درصد) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته



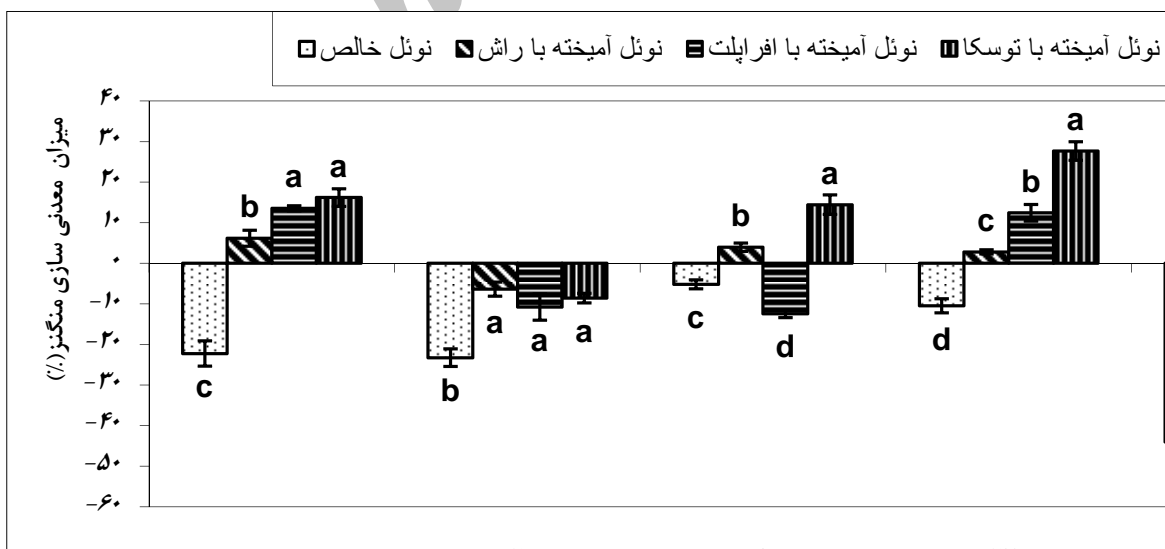
برخلاف نیتروژن معدنی‌سازی لیگنین از مراحل میانی فرایند تجزیه شروع شده و در پایان دوره میزان آن در مورد هر سه ترکیب نوئل با پهن‌برگان بیشتر از حالت خالص بود (شکل ۸).



شکل ۸- میزان معدنی‌سازی لیگنین (درصد) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

روند معدنی‌سازی منگنز لاشبرگ‌ها از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند، به طوری که فقط در مورد لاشبرگ نوئل خالص در طول مدت آنکوباسیون میزان معدنی‌سازی منفی

است. در پایان دوره مشاهده می‌شود که به غیر از ترکیب نوئل با راش در بقیه حالت‌ها معدنی‌سازی منفی (تثبیت عنصر) می‌باشد (شکل ۹).



شکل ۹- میزان معدنی‌سازی منگنز (درصد) لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته

## بحث

تغییرات غلظت نیتروژن در طول فرایند تجزیه در مورد لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته با پهن‌برگ نشان داد که در هر دو حالت، غلظت نیتروژن به‌طور خطی افزایش می‌یابد. عدم تحرک بالای نیتروژن در طول مراحل اولیه تجزیه منجر به افزایش تدریجی آن می‌شود. این افزایش براساس یافته‌های *Melillo et al.* (1982) و *Berg et al.* (1997) تا زمانی که تجزیه لاشبرگ به حد نهایی (Limit Value) خود برسد، به‌طور خطی بوده و سپس شروع به تثبیت یا کاهش می‌نماید. ترکیب لاشبرگ نوئل با لاشبرگ پهن‌برگان در پویایی نیتروژن آن تأثیر مثبت داشته، به‌طوری که بیشترین تأثیر مربوط به پلت و توسکا بود. بین ترکیبات مختلف (نوئل+پهن‌برگ) نیز هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. این نتایج کاملاً منطبق با نتایج *Polyakova & Billor* (2007) بود. نتایج مربوط به معدنی‌سازی میزان نیتروژن لاشبرگ نوئل در حالت‌های خالص و آمیخته نشان داد که لاشبرگ پهن‌برگان در معدنی‌سازی میزان نیتروژن آن اثر معنی‌داری دارند. به‌طوری که لاشبرگ‌های راش و پلت نسبت به توسکا بیشترین تأثیر را داشته‌اند. در پایان مطالعه، لاشبرگ نوئل خالص‌گندترین میزان معدنی‌سازی را به‌خود اختصاص داده بود. نکته قابل تأمل در اینجا این است که گونه راش با میزان غلظت اولیه پایین نیتروژن بیشترین تأثیر را در معدنی‌سازی نیتروژن لاشبرگ نوئل داشته است، این در حالیست که توسکا با بیشترین میزان غلظت اولیه نیتروژن کمترین اثر را داشته است. براساس نظریات *Maisto et al.* (2010) در ترکیب لاشبرگ‌ها غلظت‌های عناصر غذایی معمولاً در لاشبرگ فقیر افزایش می‌یابد، در حالی که این غلظت‌ها در لاشبرگ غنی موجود در ترکیب کاهش می‌یابد (حرکت عناصر غذایی از لاشبرگ با کیفیت بالا به طرف لاشبرگ با کیفیت پایین) بنابراین این امر در مورد ترکیب‌های نوئل+راش و نوئل+توسکا نیز صادق می‌باشد. در خصوص تغییرات غلظت پتاسیم دو مرحله قابل مشاهده است (*Laskowski*

*et al.*, 1995) مرحله اولیه که در آن تغییرات سریعی در غلظت رخ می‌دهد و مرحله آخر که در آن افزایش آهسته و یا تثبیت در غلظت مشاهده می‌شود. در مطالعه حاضر نیز غلظت پتاسیم شدیداً به‌لحاظ شستشوی سریع از لاشبرگ، کاهش یافته است. کاهش غلظت پتاسیم و رسیدن به پایین‌ترین سطح خود به‌طور کلی بعد از گذشت چند ماه از انکوباسیون رخ می‌دهد. با توجه به نوع لاشبرگ و طول مدت زمان انکوباسیون، ماده آلی از دست رفته تجمعی لاشبرگ در زمان حداقل غلظت پتاسیم، بین ۲/۵ تا ۴۰ درصد می‌باشد. براساس یافته‌های *Berg et al.* (2007) این دو فاز برای لاشبرگ‌هایی با غلظت بالای پتاسیم مشاهده نشده و در مورد لاشبرگ‌هایی مانند نوئل با سطوح اولیه پایین پتاسیم، افزایش در غلظت پتاسیم خیلی دیر رخ می‌دهد. طبق مطالعه حاضر اثر ترکیب لاشبرگ نوئل با لاشبرگ پهن‌برگان در خصوص پویایی پتاسیم مثبت بوده، به‌طوری که در حالت ترکیبی (نوئل+راش، نوئل+توسکا و نوئل+پلت) افزایش در غلظت پتاسیم سریع‌تر از حالت خالص رخ داده بود. پویایی غلظت کلسیم نیز از الگوی اصلی تغییرات غلظت در طول فرایند تجزیه تبعیت می‌کند، به‌طوری که ابتدا یک پیک در غلظت مشاهده شده و در ادامه غلظت کاهش می‌یابد. نقطه برگشت بستگی به زمانی دارد که تخریب و تجزیه لیگنین شروع می‌شود (مرحله آخر تجزیه (Late Stage) که تخریب لیگنین فرایند تجزیه را تحت کنترل خود دارد) (*Berg & McClaugherty, 2008*). مقایسه غلظت کلسیم در حالت‌های خالص و آمیخته نشان داد که در مراحل اولیه تجزیه هیچ اختلاف معنی‌داری بین غلظت کلسیم وجود ندارد، ولی در مرحله آخر تجزیه، تأثیر ترکیب لاشبرگ‌ها بر غلظت کلسیم منفی می‌باشد. به‌طوری که غلظت کلسیم در لاشبرگ نوئل خالص بیشتر از حالت‌های ترکیبی بود. این در حالی بود که ترکیب‌های مختلف نوئل+پهن‌برگ هیچ اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. با توجه به اینکه غلظت لیگنین در لاشبرگ نوئل خالص در مراحل آخر تجزیه نسبت به ترکیب‌های

را مصرف کرده، در نتیجه تنفس افزایش می‌یابد (آزادسازی دی‌اکسید کربن 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 (به‌ویژه در مراحل آخر تجزیه) فرایند تجزیه را محدود می‌کند. این فرضیه‌ها در مطالعه حاضر نیز صادق بودند (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). غلظت لیگنین نیز در طول مدت زمان تجزیه به‌طور خطی افزایش می‌یابد. افزایش غلظت لیگنین می‌تواند ناشی از تأثیر منفی افزایش غلظت نیتروژن (نرخ افزایش غلظت لیگنین در لاشبرگ‌های غنی از نیتروژن زیادتر است) (Berg *et al.*, 1997) و معدنی‌سازی بیشتر منگنز در طول فرایند تجزیه باشد (Berg *et al.*, 2007). همچنین براساس یافته‌های این تحقیق تأثیر غیرافزایشی غلظت لیگنین در لاشبرگ‌های آمیخته و خالص نوئل بی‌اثر می‌باشد. میزان معدنی‌سازی لیگنین نیز با گذشت زمان افزایش یافته بود، به‌طوری که این میزان در لاشبرگ نوئل آمیخته با راش بیشترین میزان را به خود اختصاص داده بود. مهمترین دلیل این امر بالا بودن میزان غلظت اولیه منگنز در لاشبرگ راش است که تجزیه و تخریب لیگنین را افزایش داده بود. برخلاف مطالعات گذشته (Wardle *et al.*, 1997; Hoorens *et al.*, 2002; Gartner & Cardon, 2004) و موافق با نتایج Perez *et al.* (2008) و Maisto *et al.* (2010) و Polyakova & Billor (2007) ترکیب لاشبرگ‌ها با غنای کارکردی متفاوت بر پویایی عناصر غذایی لاشبرگ نوئل تأثیر گذاشته بود. به‌طوری که در مورد معدنی‌سازی نیتروژن و لیگنین لاشبرگ نوئل آمیخته شده با لاشبرگ پهن‌برگ این امر کاملاً مشهود بود، بنابراین همین امر می‌تواند در تجزیه سریع‌تر لاشبرگ نوئل مؤثر باشد.

مختلف نوئل+پهن‌برگ کمتر بود، به همین دلیل افزایش در میزان غلظت کلسیم در نوئل خالص مشاهده گردید. منیزیم، کلسیم و پتاسیم جزء عناصری هستند که به‌لحاظ تحرک بالا در مراحل اول پوسیدگی غلظتشان در مقایسه با نیتروژن سریع کاهش می‌یابد؛ البته شدت کاهش و شستشو در مورد پتاسیم نسبت به منیزیم و کلسیم بالاست. در مورد منیزیم نیز یک افزایشی در میزان غلظت آن در مراحل آخر مشاهده می‌شود. الگوهای تغییرات عناصر غذایی لاشبرگ نوئل در وضعیت‌های مختلف کاملاً با نتایج مطالعات چندین ساله (Berg *et al.*, 2007) که درخصوص ارائه الگوهای اصلی تغییرات عناصر غذایی لاشبرگ در طول مدت زمان پوسیدگی انجام شده بود، مطابقت داشت (Berg & McClaugherty, 2008). پویایی منیزیم در حالت‌های خالص و آمیخته در مراحل اول تجزیه همانند کلسیم می‌باشد، ولی در مراحل آخر میزان غلظت آن در مورد ترکیب‌های مختلف لاشبرگ نوئل با پهن‌برگ نسبت به لاشبرگ نوئل خالص بیشتر بود. بنابراین می‌توان اذعان داشت که اثرهای غیر افزایشی لاشبرگ‌های آمیخته در خصوص تغییرات غلظت منیزیم ترکیبات مختلف لاشبرگ نوئل با پهن‌برگ مثبت بود. در مورد عناصر سنگین همانند منگنز، غلظت در طول فرایند تجزیه افزایش می‌یابد و این افزایش ضرورتاً به‌صورت نمایی می‌باشد. پویایی منگنز در لاشبرگ در حال تجزیه تاکنون کمتر مطالعه شده است و امکان فرضیه‌سازی مناسب در این زمینه کمتر است (Berg & McClaugherty, 2008). با این حال در ارتباط با این عنصر دو فرضیه عمومی مطرح است. اول اینکه منگنز فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها را افزایش و بهبود می‌بخشد. دوم اینکه منگنز فرایند تجزیه لیگنین را بیشتر می‌کند. براساس فرضیه اول کاهش در غلظت نیتروژن (مصرف نیترات آزاد شده بوسیله میکروارگانیسم‌ها) مشاهده می‌گردد. میکروارگانیسم‌ها همچنین کربن زیادی

## References

- Berg, B., McClaugherty C. and Johansson, M.B., 1997. Chemical changes in decomposing plant litter can be systemized with respect to the litter's initial chemical composition. Department of Forest Ecology and Forest Soils, Swed. Univ. Agric. Sci. Rep., 74: 1-85.
- Berg, B., Gundersen, P., Akselsson, C., Johansson, M.B., Nilsson, A. and Vesterdal, L., 2007. Carbon sequestration rates in Nordic forest soils- Some results from three approaches. *Silva Fennica*, 41 (3): 541-558.
- Berg, B. and McClaugherty, C., 2008. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 338 p.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-Total. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R., (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, ASA, SSSA, Madison, WI: 595-624.
- Finzi, A. and Canham, C.D., 1998. Non-additive effects of bitter Mixtures on net N mineralization in a southern New England forest. *Forest Ecology and Management*, 105: 129-136.
- Gartner, T.B. and Cardon, Z.G., 2004. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter a review. *Oikos*, 104: 230-246.
- 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 Environment*, 75: 133-144.
- Hättenschwiler, S. and Gasser, P., 2005. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. *Proc Natl. Acad. Sci. USA*, 102: 1519-1524.
- Hoorens, B., Aerts, R. and Stroetenga, M., 2002. Litter quality and interactive effects in litter mixtures: more negative interactions under elevated CO<sub>2</sub>. *J. Eco. L.*, 90: 1009-1016.
- 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: 436-440.
- Laskowski, R., Berg, B., Johansson, M. and McClaugherty, C., 1995. Release pattern for potassium from decomposing forest leaf litter. Long-term decomposition in a Scots pine forest XI. *Can. J. Bot.*, 73: 2019-2027.
- Maisto, G., De Marco, A., Meola, A., Sessa, L. and Virzo De Santo, A., 2010. Nutrient dynamics in litter mixtures of four Mediterranean maquis species decomposing *in situ*. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 520-530.
- Melillo, J.M., Aber, J.D. and Muratore, J.F., 1982. Nitrogen and Lignin control of hardwood leaf litter dynamics in forest ecosystems. *Ecology*, 63: 621-626.
- Pérez-Corona, M.E., Hernández, C.P. and Castro, F.B., 2006. Decomposition of Alder, Ash and Poplar Litter in a Mediterranean River Area. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1111-1125.
- Perez Harguindeguy, N., Blundo, C., Gurruch, D., Diaz, S. and Cuevas, M., 2008. More than the sum of its parts? Assessing litter heterogeneity effects on the decomposition of litter mixtures through leaf chemistry. *Plant Soil*, 303: 151-159.
- Polyakova, O. and Billor, N., 2007. Impact of deciduous tree species on litter fall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management*, 253: 11-18.
- Radaei, M., 1998. Effect of Norway spruce (*Picea abies*) plantation on the soil physical and chemical properties. M.Sc. Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resource of Gorgan, 120 p.
- Rouhi-Moghaddam, E., Hosseini, S.M., Ebrahimi, E., Tabari, M. and Rahmani, A., 2008. Comparison of growth, nutrition and soil properties of pure stands of *Quercus castaneifolia* and mixed with *Zelkova carpinifolia* in the Hyrcanian forests of Iran. *Forest Ecology and Management*, 255: 1149-1160.
- Salamanca, E.F., Kaneko, N. and Katagiri, S., 1998. Effects of leaf litter mixtures on the decomposition of *Quercus serrata* and *Pinus densiflora* using field and laboratory microcosm methods. *Ecol. Eng.*, 10: 53-73.
- Thelin, G., Rosengren, U., Callesen, I. and Ingerslev, M., 2002. The nutrient status of Norway spruce in pure and in mixed-species stands. *Forest Ecology and Management*, 160: 115-125.
- 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.
- Wardle, D.A., Bonner, K.I. and Barker, G.M., 1997. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. *Oikos*, 79: 247-258.

## Nutrient dynamic of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) litter mixed with litter of Beech (*Fagus orientalis* lipsky), Alder (*Alnus subcordata* C.A.Meyer) and Maple (*Acer velutinum* Boiss.) in pure Norway spruce plantation of Lajim site

F. Ghasemi Aghbash<sup>1</sup>, Gh.A. Jalali<sup>2\*</sup>, V. Hosseini<sup>3</sup>, S.M. Hosseini<sup>4</sup> and B. Berg<sup>5</sup>

1- Ph.D. student of forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modarres University, Noor, Iran

2\*- Corresponding author, Associate professor, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modarres University, Noor, Iran. E-mail: gholamalij@yahoo.com.

3- Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Kordestan University, Sanandaj, Iran

4- Associate professor, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modarres University, Noor, Iran

5- Ph.D. student, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Finland.

### Abstract

Plant litter decomposition plays an important role in forest soil fertility due to nutrient cycling and soil organic matter formation. Litter decomposition, results in return of leaves nutrient to soil and supply of necessary elements for plant growth. In fact, nutrient availability is highly related to litter nutrient dynamic in soil. In this study the nutrient dynamic of Norway spruce litter was investigated in both pure and mixed condition to determine whether its nutrient dynamic is affected by its composition with broad-leaved litters or not. For this reason, Norway spruce litters were treated for 400 days at pure and mixed conditions with Beech (*Fagus orientalis* lipsky), Alder (*Alnus subcordata* C.A.Meyer) and Maple (*Acer velutinum* Boiss.) litters in pure Norway spruce plantation at Lajim site, using litter bag method. The results showed that the non-additive effect of litter composition on dynamic of lignin and manganese was neutral, but on dynamic of nitrogen, potassium and magnesium was positive, whereas on dynamic of calcium was negative. The finding of this study showed that litter mineralization rate of nitrogen in the three treatments of litter composition was higher than the its rate in the pure Norway spruce litter, whereas the mineralization rate of manganese was negative at the end of the study time in all the combinations, except for Norway spruce mixed with beech.

**Keywords:** additive effect, litter decomposition, mineralization rate, Norway spruce.