دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

مقایسه پویایی عناصر غذایی و نرخ تجزیه سوزن‌های نوئل (*Picea abies* Karst.) در رویشگاه‌های استراسان سوئد و لاجیم ایران

فرهاد قاسمی آقباش[۱] و بیورن برگ[۲]

۱- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر، ملایر، ایران، (نویسنده مسوول: f.ghasemi@malayeru.ac.ir)
۲- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و جنگلداری، دانشگاه هلسینکی، هلسینکی، فنلاند
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۳
صفحه: ۱۰۱ تا ۱۱۰

چکیده

تغییر رویشگاه منجر به بروز تفاوت‌هایی در نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها شده و اثرات زیادی بر عوامل کنترل کننده فرایند تجزیه دارد. در تحقیق حاضر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در دو عرصه جنگل‌کاری شده رویشگاه طبیعی و غیرطبیعی (استراسان سوئد و لاجیم ایران) به‌مدت ۳۶۳ روز ارزیابی شد. عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، منگنز و لیگنین براساس روش‌های اندازه‌گیری استاندارد و همچنین متغیرهای حد نهایی، ضریب ثابت تجزیه و ظرفیت تولید هوموس از طریق روابط مربوط در هردو رویشگاه بررسی شد. غلظت‌های عناصر غذایی و لیگنین به‌طور مجزا در هر کشور و با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری مشابه انجام گرفت. نتایج نشان داد که کیفیت اولیه سوزن‌ها، به‌غیر از کلسیم و منگنز، در رویشگاه لاجیم (غلظت‌های عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم به‌ترتیب ۱۲/۶۳، ۱/۲۳، ۹/۸۵ و ۱/۵۱ میلی‌گرم در گرم) بهتر از استراسان (غلظت‌های کلسیم و منگنز به‌ترتیب ۱۳/٤ و ۱/۳۸ میلی‌گرم در گرم) بود. الگوی پویایی عناصر غذایی سوزن‌ها در دو رویشگاه در طی مدت زمان مطالعه مشابه هم بوده ولی در روز ۳۶۳ از نظر غلظت‌های منگنز و فسفر اختلافات معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین دو رویشگاه مورد بررسی مشاهده شد. میزان وزن باقی‌مانده در دو رویشگاه در پایان دوره انکوباسیون اختلاف معنی‌داری نشان نداد (رویشگاه لاجیم و استراسان به‌ترتیب ۷۷/٦۹ و ۷۸/۹۲ درصد). ضریب ثابت تجزیه و ظرفیت تولید هوموس در رویشگاه لاجیم (به‌ترتیب ۰/۲٤ درصد در روز و ٦٦ بخش) بیشتر از رویشگاه استراسان (به‌ترتیب ۰/۱ درصد در روز و ۵۵ بخش) بود. نتایج رگرسیون گام به گام نشان داد که در رویشگاه لاجیم غلظت‌های فسفر و منگنز و در رویشگاه استراسان نیز غلظت‌های لیگنین، منیزیم و کلسیم پیش‌بینی کننده نرخ تجزیه سوزن‌ها هستند. در کل نتایج این پژوهش نشان داد که گونه نوئل در رویشگاه لاجیم از نظر تجزیه و پویایی عناصر غذایی سوزن‌ها در مقایسه با رویشگاه طبیعی خود موفق عمل کرده و از این نظر می‌تواند در پروژه‌های جنگل‌کاری عرصه‌های کوهستانی هیرکانی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییر رویشگاه، جنگل‌های سوزنی‌برگ شمالی، کیفیت لاشبرگ، نرخ تجزیه، نوئل

مقدمه

اساساً ذخایر کربن خاک در اثر ورود مواد آلی به خاک و تجزیه آن انجام می‌گیرد. در جنگل‌های معتدله لاشریزه بیشترین ورودی مواد آلی را تشکیل داده و در حدود ۷۰ – ۸۰ درصد ذخایر کربن خاک را تأمین می‌نماید (۳). تجزیه لاشبرگ فرایند پیچیده‌ای است که وجود ارتباط‌های متقابل مابین کیفیت لاشبرگ، اقلیم و جوامع تجزیه‌کننده نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی آن را تنظیم می‌کند (۸،۲۴). خرده‌ریزه‌خواران[۱] در ابتدا لاشبرگ‌ها را به قطعات کوچک تبدیل کرده و شرایط را برای جوامع میکروبی مهیا می‌کنند. آنچه که مسلم است نقش اقلیم، بویژه دما و بارندگی، در فعالیت هردوی خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه‌کنندگان است. اثرات تغییر رویشگاه بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها می‌تواند ناشی از اختلافات ترکیبات شیمیایی لاشبرگ‌ها باشد. تجزیه لاشبرگ‌های با کیفیت بالا (نسبت عناصر غذایی/کربن) در برابر تغییر رویشگاه حساس بوده در حالی که این حساسیت برای لاشبرگ‌های با کیفیت پایین وجود ندارد (۱۲). در لاشبرگ‌های با کیفیت پایین شرایط محیط‌زیستی نقش اساسی در تجزیه دارند (۱۸،۲۴). البته تغییرات موجود در مقادیر عناصر غذایی قابل دسترس لاشبرگ‌ها نیز می‌تواند اثر تغییر رویشگاه جنگلی را کنترل نماید. وجود رویشگاه حاصل‌خیز در تجزیه لاشبرگ‌های با کیفیت پایین نقش بسزایی داشته و شرایط را برای فعالیت جوامع میکروبی خاک مساعد می‌نماید (۹).

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که تجزیه لاشبرگ اساساً توسط اقلیم، کیفیت لاشبرگ و جوامع میکروبی تنظیم می‌شود. اهمیت نسبی هر کدام از این عوامل بستگی به این پرسش دارد که فرایند تجزیه لاشبرگ در چه مقیاسی انجام می‌شود؟ در مقیاس منطقه‌ای تا جهانی کیفیت لاشبرگ و اقلیم توصیف کننده، بخش عظیمی از تغییرات هستند (۲۲) در حالی که در مقیاس محلی جوامع میکروبی خاک نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (۲۳). مطالعاتی که اخیرا انجام شده نشان داده‌اند که خاک‌هایی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی مختلف نقش مهمی در تجزیه لاشبرگ دارند (۷،۱۰). تجزیه لاشبرگ در محیطی که توسط درختان تولیدکننده آن احاطه شده باشد سریعتر انجام می‌گیرد (مزیت تجزیه خانگی لاشبرگ) دلیل این مساله سازگاری میکروارگانیسم‌های موجود در خاک با لاشه‌ریزه تولیدی درختان است (۱۷). به هرحال این مزیت به طور جامع تایید شده نیست (۱۳).

امروزه، نوئل درخت غالب در خاک‌های نمناک سوئد بوده و دارای ارزش اقتصادی بالایی است. نوئل دارای سیستم ریشه‌ای سطحی بوده و لایه ضخیمی از مواد آلی را در خاک

1- Detritivores

تشکیل می‌دهد. این درخت موجب اسیدی شدن خاک می‌شود (۲۳). در ایران نیز این گونه درختی در مناطق کوهستانی هیرکانی جنگل‌کاری شده و از لحاظ تجزیه لاشبرگ و اثرگذاری مثبت[1] بر تجزیه لاشبرگ‌های راش موفقیت‌هایی را داشته است (۱۶).

تحقیق حاضر به دنبال دستیابی به اثرات تغییر رویشگاه و متعاقب آن تغییر آب و هوا بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها بوده است. بنابراین دو رویشگاه اصلی (عرصه جنگل‌کاری شده استراسان سوئد) و خارجی (عرصه جنگل‌کاری شده منطقه لاجیم مازندران) برای این پژوهش انتخاب شد. در این مطالعه فرضیه‌های زیر مورد توجه قرار گرفت: ۱- تجزیه سوزن‌های نوئل در رویشگاه اصلی سریعتر از رویشگاه ایران (لاجیم) انجام می‌گیرد. ۲- پویایی عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مورد بررسی از الگوهای مشابهی تبعیت می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

در این تحقیق فرایند تجزیه و پویایی عناصر غذایی سوزن‌های نوئل (*Picea abies* Karst.) در دو عرصه جنگل‌کاری شده (موطن اصلی Stråsan سوئد و خارجی لاجیم ایران) مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که منبع بذر این گونه در رویشگاه لاجیم مشابه با عرصه جنگل‌کاری شده رویشگاه استراسان بوده است. رویشگاه استراسان در قسمت مرکزی سوئد واقع شده است. از سال ۱۹۵۸ جنگل‌کاری نوئل (*Picea abies* Karst.) در روی اراضی نسبتا تند منطقه با فاصله کاشت ۳/۵ × ۳/۵ متر انجام گرفته است. از سال ۱۹۶۷ اقدام به کودپاشی (آمونیم نیترات و سوپرفسفات) شده است. از سال ۱۹۸۴ نیز عناصری مانند پتاسیم، منیزیم، منگنز، بر، روی، مس و مولیبدن به خاک عرصه اضافه شده است (۲). رویشگاه لاجیم در ناحیه البرز مرکزی و تحت مدیریت اداره کل منابع طبیعی ساری در شهرستان سوادکوه قرار گرفته و هیچ‌گونه کودهی در آن انجام نشده است.

موقعیت جغرافیایی، مشخصات اکولوژیکی و خاکشناسی رویشگاه‌ها در جدول ۱ آمده است (۲،۱۷).

جدول ۱- مشخصات اکولوژیکی و خاکشناسی رویشگاه‌های مورد بررسی

Table 1. Ecological and Edaphical characteristics of studied stands

نام رویشگاه	لاجیم	استراسان
مختصات جغرافیایی	عرض جغرافیایی ″۴۶′۱۴°۳۶ شمالی طول جغرافیایی″۱۳ ′۰۷°۵۳ شرقی	عرض جغرافیایی ″۲۴′۵۵°۶۰ شمالی طول جغرافیایی″۰۷ ′۰۱°۱۶ شرقی
ارتفاع از سطح دریا	۹۶۵	۳۵۰
میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر)	۸۷۸/۴	۷۴۵
میانگین دمای سالیانه (سانتی‌گراد)	۱۴/۹	۳/۱
جهت عمومی	شمالی	غربی
شیب عمومی (٪)	۲۰	۳۵
سن	۶۰	۶۱
اسیدیته خاک	۵/۷	۵/۱
بافت خاک	لومی	رسی – شنی
نوع هوموس	مور	مور
نوع خاک	راندزین – کالسیمورف	پدزول

روش تحقیق

روش انجام تحقیق و طراحی آزمایش در دو رویشگاه مورد بررسی کاملا یکسان پیاده شد. زمان آغاز انکوباسیون در هر دو رویشگاه ۲۴ آبان ماه ۱۳۹۶ (۱۵ نوامبر ۲۰۱۷) بوده است. آماده‌سازی و کنترل روش‌های مورد استفاده برای کیسه‌لاشبرگ‌ها و جمع‌آوری لاشبرگ‌ها براساس استانداردهای موجود انجام گرفت (۳). در فصل خزان سوزن‌های نوئل از تمامی جهات تاج درختان جمع‌آوری شد. سوزن‌های جمع‌آوری شده در فضای آزمایشگاه خشک شده و جهت تعیین رطوبت و کیفیت اولیه سوزن‌ها ریزنمونه پنج گرمی برداشت و با استفاده از آون ۶۵ درجه‌سانتی‌گراد در مدت زمان ۲۴ ساعت خشک شدند. تحقیق حاضر در هر دو رویشگاه مورد بررسی با بکارگیری تکنیک کیسه‌لاشبرگ انجام شد. ابعاد کیسه‌لاشبرگ‌های مورد استفاده ۸×۸ سانتی‌متر با روزنه ۱×۰/۵ میلی‌متر و از جنس پلی استر بود. در هر کیسه‌لاشبرگ در حدود ده گرم سوزن‌های نوئل قرار داده شد. تعداد ۴۰ کیسه‌لاشبرگ تهیه و قبل از نصب آنها در عرصه، برچسبی شامل وزن اولیه سوزن‌ها در داخل کیسه‌لاشبرگ‌ها قرار داده شد. برداشت کیسه‌لاشبرگ‌ها در دوره‌های زمانی ۶۸، ۱۰۳، ۳۲۱ و ۳۶۳ روز انجام گرفت (۳).

تعیین وزن از دست رفته و آنالیز شیمیایی سوزن‌های نوئل

بعد از جمع‌آوری لاشبرگ‌ها از عرصه و خشک شدن آنها در صورت وجود ناپاکی (خاک، بقایای گیاهی، خزه و غیره) با آب مقطر شستشو و سپس در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. میزان ماده آلی از دست رفته براساس روابط وزنی محاسبه شد (۱۵). تعیین عناصر غذایی سوزن‌ها نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و منگنز از طریق روش‌های استاندارد موجود در پنج تکرار انجام گرفت. مقادیر لیگنین کلاسون (بقایای اسیدی غیرهیدرولیزه (AUR)) سوزن‌ها نیز از طریق روش کلاسون (Klason) و در دو مرحله هضم در اسید سولفوریک ۷۲ درصد اندازه‌گیری شد (۳). لازم به ذکر است که تجزیه‌ها در دو کشور به طور مجزا انجام گرفته است.

1- Positive non-additive effects

پروتکل انجام آزمایشات (نظیر نیتروژن روش کجدال، فسفر از طریق اسپکتروفتومتر و غیره) کاملا یکسان بوده است.

ضریب ثابت تجزیه، حد نهایی تجزیه لاشبرگ و ظرفیت بالقوه برای هوموسی شدن

ضریب ثابت تجزیه، حد نهایی تجزیه لاشبرگ و همچنین ظرفیت بالقوه برای هوموسی شدن از طریق روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند (۴).

رابطه (۱) $M_t = M_0 . e^{-kt}$

M_0: وزن اولیه لاشبرگ، M_t: وزن باقی مانده بعد از گذشت t، t: مدت زمان تجزیه، K: نرخ ثابت تجزیه

رابطه (۲) $L = m (1-e^{-kt/m})$

L: ماده آلی از دست رفته در مدت زمان t، m: حدنهایی تجزیه، t: مدت زمان تجزیه، K: نرخ ثابت تجزیه

رابطه (۳) LH= (100-Limit Value)/100

LH: فاکتور لاشبرگ به هوموس.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

توزیع نرمال داده‌ها با استفاده ازآزمون شاپیرو ویلک بررسی و تایید شد. برای مقایسه نرخ تجزیه و غلظت‌های عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مورد بررسی از آزمون تی مستقل استفاده شد. بررسی همبستگی بین ماده آلی از دست رفته و غلظت‌های عناصرغذایی با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون انجام شد. برای دستیابی به بهترین ترکیب از خصوصیات شیمیایی لاشبرگ جهت پیش‌بینی ماده آلی از دست رفته، به‌عنوان متغیر وابسته، از رگرسیون گام به گام استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 22 انجام گرفت.

نتایج و بحث

کیفیت شیمیایی لاشبرگ‌ها در ابتدا و انتهای زمان بررسی

بر اساس نتایج مشخص شد که غلظت‌های عناصر غذایی در ابتدای دوره در رویشگاه لاجیم به‌صورت N>K>Ca>Mg>P>Mn و در رویشگاه استراسان نیز به صورت Ca>N>Mn>K>Mg>P بود که در هردو رویشگاه از الگوی عمومی غلظت عناصر غذایی لاشبرگ‌ها پیروی نمی‌کنند. سوزن‌های نوئل در رویشگاه لاجیم از نظر غلظت‌های عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم نسبت به رویشگاه استراسان برتری داشته در حالی که مقادیر غلظت‌های کلسیم، منگنز و لیگنین در رویشگاه استراسان بیشتر بود. کیفیت لاشبرگ‌ها در پایان ۳۶۳ روز نشان داد که در رویشگاه لاجیم غلظت‌های عناصر غذایی، به‌جز منگنز، از رویشگاه استراسان بیشتر بود. همچنین غلظت لیگنین در رویشگاه استراسان بیشتر از لاجیم بود. الگوی غلظت‌های عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در رویشگاه لاجیم و استراسان در انتهای دوره به‌ترتیب به‌صورت Ca>N>P>K>Mg>Mn و Ca>N>Mn>K>Mg>P بود که نشان می‌دهد فقط مقادیر غلظت‌های منگنز و فسفر در دو رویشگاه متفاوت بودند (جدول ۲).

جدول ۲- کیفیت شیمیایی سوزن‌های نوئل در ابتدا و انتهای زمان بررسی در دو رویشگاه لاجیم و استراسان (میلی‌گرم در گرم)

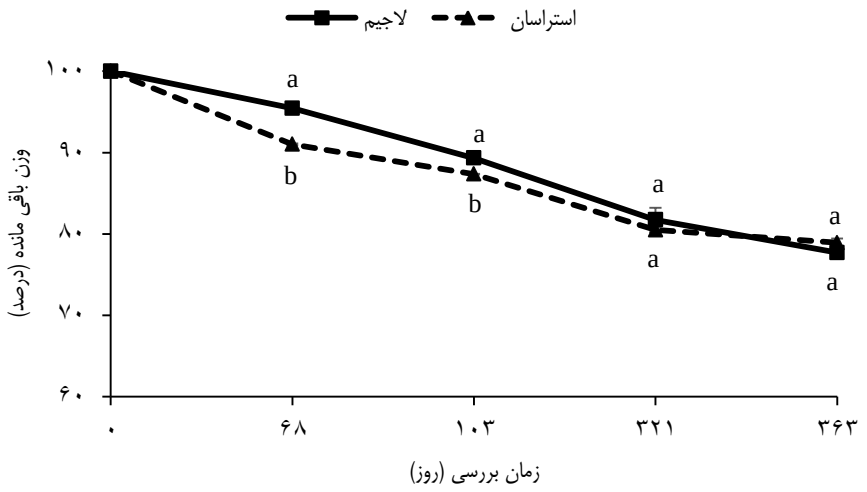
Table 2. Initial chemical of Norway spruce needles in the first and end time of Incubation time in two stands of Lajim and Stråsan (mg/g)

	ابتدای زمان بررسی				انتهای زمان بررسی			
	لاجیم		استراسان		لاجیم		استراسان	
N	۱۲/۶۲۸ ± ۰/۲۲۷	a	۴/۲۴۵ ± ۰/۱۰۸	b	۱۶/۷۷۶ ± ۰/۲۸۴	a	۵/۵۳۶ ± ۰/۱۸۲	b
P	۱/۲۲۸ ± ۰/۱۴	a	۰/۴۰۱ ± ۰/۰۱۱	b	۴/۴۹۶ ± ۰/۱۵۴	a	۰/۳۲ ± ۰/۰۱۱	b
K	۹/۸۴۵ ± ۰/۱۲۴	a	۱/۰۷۲ ± ۰/۰۱۶	b	۱/۳۶ ± ۰/۱۰۵	a	۰/۵۳۵ ± ۰/۰۲۳	b
Ca	۹/۰۵۱ ± ۰/۱۰۸	b	۱۳/۴ ± ۰/۳۳۴	a	۱۹/۰۵۷ ± ۰/۲۸۸	a	۱۶/۳۷ ± ۰/۳۲۸	b
Mg	۱/۵۱ ± ۰/۰۵۱	a	۰/۸۸۲ ± ۰/۰۱۵	b	۱/۱۷۶ ± ۰/۰۱۵	a	۰/۵۲ ± ۰/۰۱۵	b
Mn	۰/۰۵۴ ± ۰/۰۰۳	b	۱/۳۸ ± ۰/۰۲۳	a	۰/۰۹۸۷ ± ۰/۰۰۵	b	۱/۰۶ ± ۰/۰۱۶	a
AUR	۲۹۲/۵ ± ۶/۳۴۴	b	۳۳۹/۴۵ ± ۰/۸۸۵	a	۳۳۵/۷۵ ± ۴/۸۷۱	b	۴۳۱/۶۵ ± ۲/۲۱۵	a
AUR/N	۲۳/۱۷۹ ± ۰/۵۵	b	۸۰/۱۳۴ ± ۲/۲۲۷	a	۲۰/۰۴۵ ± ۰/۳۸	b	۷۸/۲۸۴ ± ۲/۰۶۵	a

اعداد با حروف متفاوت در هر سطر اختلاف معنی‌داری باهم در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارند.

ماده آلی از دست رفته، حد نهایی تجزیه، ضریب ثابت و ظرفیت هوموسی شدن سوزن‌های نوئل

نتایج نشان داد که در پایان ۳۶۳ روز میزان ماده آلی از دست رفته سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مورد بررسی اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند. هرچند تا ۱۰۳ روز اول رویشگاه استراسان از نظر سرعت تجزیه برتری معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد داشت (شکل ۱). براساس نتایج مشخص شد که در رویشگاه استراسان سوزن‌های نوئل از حد نهایی بالای تجزیه برخوردار هستند در حالی که در رویشگاه لاجیم سوزن‌ها از لحاظ ضریب ثابت تجزیه و قابلیت تبدیل به هوموس از مقادیر بالایی برخوردار هستند (جدول ۳).



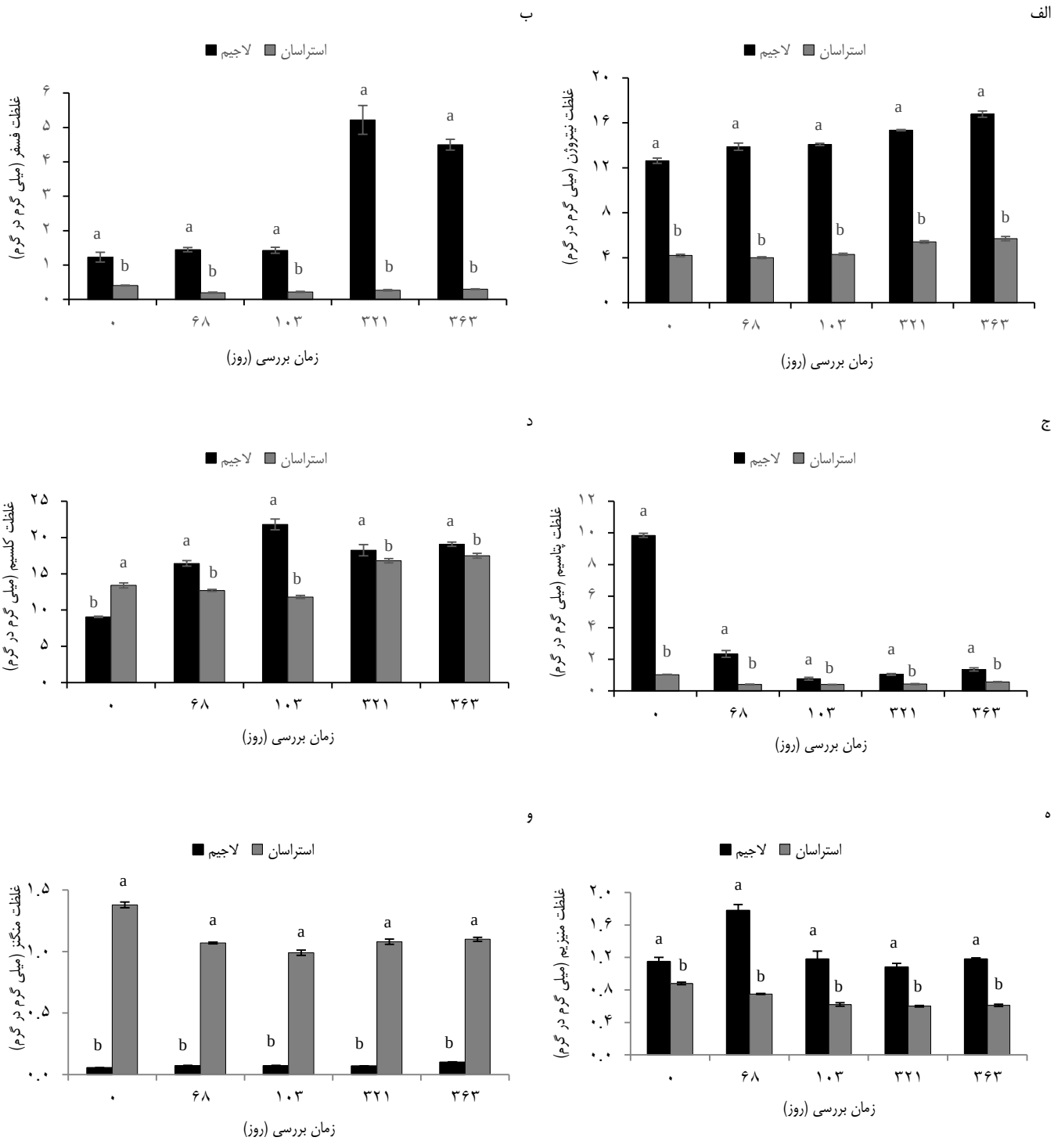
شکل ۱- وزن باقی‌مانده (درصد) سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه لاجیم و استراسان
Figure 1. Remaining weight (%) of Norway spruce needles in two stands of Lajim and Stråsan

جدول ۳- حد نهایی، ضریب ثابت تجزیه و ظرفیت هوموسی شدن سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مورد بررسی
Table 3. Limit value, decomposition constant coefficient and humisification potential of Norway spruce needles in two studied stands

استراسان			لاجیم		
ظرفیت هوموسی شدن (بخش)	ضریب ثابت تجزیه (درصد در روز)	حد نهایی تجزیه (درصد)	ظرفیت هوموسی شدن (بخش)	ضریب ثابت تجزیه (درصد در روز)	حد نهایی تجزیه (درصد)
۰/۵۴۷ ± ۰/۰۶۵	۰/۱ ± ۰/۳۴	۴۵/۳ ± ۲/۵۴	۰/۶۶۳ ± ۰/۰۱۸	۰/۲۴ ± ۰/۱۱	۳۳/۶۶ ± ۱/۸۵

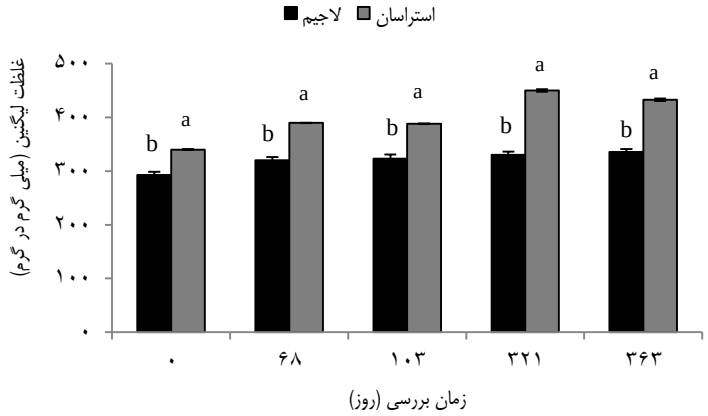
پویایی عناصر غذایی سوزن‌های نوئل

الگوهای پویایی عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در هر دو رویشگاه مورد بررسی مشابه بوده به طوری که در مورد غلظت نیتروژن در هر دو رویشگاه افزایش در غلظت آن اتفاق افتاده و در تمامی مقاطع مورد بررسی غلظت نیتروژن در رویشگاه لاجیم بیشتر از رویشگاه استراسان بود (شکل ۲ الف). عملکرد فسفر نیز در طول فرایند تجزیه مشابه نیتروژن بوده و غلظت آن در تمامی زمان‌های مورد بررسی در رویشگاه لاجیم بیشتر از استراسان بود (شکل ۲ ب). برخلاف نیتروژن و فسفر غلظت پتاسیم در طول مدت زمان مطالعه با کاهش غلظت مواجه شده است. رویشگاه لاجیم در تمامی زمان‌های بررسی از غلظت بالای پتاسیم برخوردار بود (شکل ۲ ج). پویایی غلظت کلسیم سوزن‌های نوئل در دور رویشگاه مورد بررسی مشابه هم نبوده به‌طوری که در رویشگاه لاجیم غلظت کلسیم با افزایش مواجه بوده و از روز ۱۰۳ به بعد کاهش غلظت دارد. ولی در رویشگاه استراسان، که میزان غلظت اولیه کلسیم آن بیشتر از رویشگاه لاجیم بود، تا روز ۳۲۱ کاهش غلظت اتفاق افتاده و سپس افزایش غلظت در روز ۳۶۳ مطالعه ثبت شد. به غیر از غلظت اولیه در بقیه زمان‌های بررسی مقادیر غلظت کلسیم در سوزن‌های نوئل رویشگاه لاجیم بیشتر از استراسان بود (شکل ۲ د). غلظت منیزیم سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مورد بررسی در تمامی زمان‌های بررسی اختلاف معنی‌داری باهم داشتند و رویشگاه لاجیم غلظت‌های بالایی را به‌خود اختصاص داده است. در رویشگاه استراسان غلظت منیزیم سوزن‌های نوئل روند کاهشی داشته در حالی که در رویشگاه لاجیم پویایی غلظت‌های منیزیم از روند منظمی برخوردار نبوده و حداکثر آن در روز ۶۸ ثبت شد (شکل ۲ ه). غلظت منگنز برخلاف سایر عناصر مورد بررسی در رویشگاه استراسان بیشتر از لاجیم بود. در رویشگاه استراسان غلظت اولیه منگنز بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده است. در رویشگاه لاجیم نیز پویایی غلظت منگنز تقریبا روند افزایشی داشته است (شکل ۲ و). غلظت لیگنین در هر دو رویشگاه روند افزایشی داشته و در روز آخر بررسی به حداکثر خود رسیده است. مشابه منگنز غلظت لیگنین نیز در رویشگاه استراسان بیشتر از رویشگاه لاجیم بود (شکل ۲ ز).



شکل ۲- پویایی عناصر غذایی و لیگنین سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه لاجیم و استراسان

Figure 2. Nutrients and lignin dynamics of Norway spruce needles in two stands of Lajim and Stråsan



ادامه شکل ۲- پویایی عناصر غذایی و لیگنین سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه لاجیم و استراسان
Continued Figure 2. Nutrients and lignin dynamics of Norway spruce needles in two stands of Lajim and Stråsan

همبستگی بین ماده آلی از دست رفته با غلظت‌های اولیه عناصر غذایی سوزن‌های نوئل

نتایج نشان داد که در رویشگاه لاجیم فقط غلظت لیگنین با ماده آلی از دست رفته سوزن‌های نوئل همبستگی منفی در سطح پنج درصد دارد. همبستگی بین مقادیر اولیه عناصر مختلف با هم نیز نشان داد که غلظت اولیه منیزیم با غلظت‌های فسفر و کلسیم همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح پنج درصد دارد (جدول ۴). در رویشگاه استراسان غلظت منگنز با نرخ تجزیه لاشبرگ همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داد. در حالی که بقیه عناصر غذایی و غلظت لیگنین چنین همبستگی را نشان ندادند. برخلاف رویشگاه لاجیم هیچ‌کدام از عناصر غذایی باهم همبستگی معنی‌داری نداشتند. در هردو رویشگاه نسبت لیگنین به نیتروژن با نرخ تجزیه همبستگی منفی و غیر معنی‌دار داشتند (جدول ۵).

جدول ۴- همبستگی بین نرخ تجزیه سوزن‌های نوئل و مقادیر اولیه غلظت‌های عناصر غذایی در رویشگاه لاجیم
Table 4. Correlation between mass loss of Norway spruce needles and initial concentrations of nutrients in Lajim stand

	Mass loss	N	P	K	Mg	Ca	Mn	AUR	AUR/N
Mass loss	۱								
N	۰/۰۲۴	۱							
P	۰/۶۹۸	۰/۳۳۳	۱						
K	۰/۷۲۹	- ۰/۶۰۵	۰/۴۹۳	۱					
Mg	- ۰/۷۹۴	- ۰/۱۲۸	- ۰/۹۷۳*	- ۰/۶۸۰	۱				
Ca	۰/۸۲۵	- ۰/۱۳۱	۰/۸۷۸	۰/۸۴۹	- ۰/۹۶۴*	۱			
Mn	۰/۸۹۰	۰/۱۴۳	- ۰/۲۹۶	- ۰/۶۳۳	۰/۴۳۵	- ۰/۵۲۸	۱		
AUR	- ۰/۹۵۶*	۰/۲۹۷	۰/۶۸۵	۰/۴۹۶	- ۰/۷۲۴	۰/۶۸۸	- ۰/۸۵۱	۱	
AUR/N	- ۰/۷۹۹	- ۰/۹۸۴*	۰/۷۸۵	۰/۵۱۱	-۰/۵۴۹	۰/۶۱۲	-۰/۷۴۲	۰/۶۲۸	۱

*: نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ۵- همبستگی بین نرخ تجزیه سوزن‌های نوئل با مقادیر اولیه غلظت‌های عناصر غذایی در رویشگاه استراسان
Table 5. Correlation between mass loss of Norway spruce needles and initial concentrations of nutrients in Stråsan stand

	Mass loss	N	P	K	Mg	Ca	Mn	AUR	AUR/N
Mass loss	۱								
N	۰/۳۵۱	۱							
P	۰/۳۲۵	۰/۳۹۰	۱						
K	۰/۶۰۲	- ۰/۲۹۲	- ۰/۴۶۷	۱					
Mg	- ۰/۹۱۲	۰/۰۰۷	۰/۶۵۱	۰/۳۵۰	۱				
Ca	۰/۱۸۷	- ۰/۷۵۲	- ۰/۸۴۳	۰/۶۹۴	- ۰/۲۲۶	۱			
Mn	۰/۹۷۶*	۰/۴۷۵	- ۰/۳۷۲	- ۰/۴۶۶	- ۰/۸۷۶	- ۰/۱۷۶	۱		
AUR	- ۰/۸۴۰	- ۰/۷۷۰	۰/۱۴۹	۰/۳۹۶	۰/۶۲۹	۰/۴۰۳	- ۰/۹۲۳	۱	
AUR/N	- ۰/۷۴۱	-۰/۸۴۷	۰/۶۲۵	۰/۴۲۶	۰/۵۸۹	۰/۴۸۹	-۰/۸۴۸	۰/۹۸۷*	۱

*: نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

پیش‌بینی ماده آلی از دست رفته سوزن‌ها از طریق ترکیبات شیمیایی اولیه

براساس نتایج رگرسیون گام به گام مشخص شد که در رویشگاه لاجیم از بین ترکیبات شیمیایی اولیه لاشبرگ (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، منگنز و لیگنین) در گام اول فسفر و در گام دوم منگنز در مدل وارد شده است. این دو متغیر توانسته‌اند ۹۶/۵ درصد واریانس تجزیه را توصیف نمایند (جدول ۶).

جدول ۶- اطلاعات رگرسیون گام به گام متغیر تابع (درصد ماده آلی از دست رفته) و متغیرهای توصیف کننده (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، منگنز و لیگنین) در رویشگاه لاجیم

Table 6. Step regression data of dependent variable (Mass loss %) and qualifier variables (N, P, K, Mg, Ca, Mn and Lignin) in Lajim stand

معنی‌داری	میانگین مجذور رگرسیون	میانگین مجذور رگرسیون	درجه آزادی باقی‌مانده	درجه آزادی رگرسیون	مجذور ضریب همبستگی چندگانه تعدیل شده	مدل	متغیر وابسته
۰/۰۰۰	۷/۸۳۵	۹۵۷/۳۰۱	۱۴	۱	۰/۸۹۰	P	ماده آلی از دست رفته (٪)
۰/۰۰۰	۲/۴۹۹	۲۱۷/۲۵۱			۰/۹۶۵	Mn	

بنابراین معادله رگرسیونی رویشگاه لاجیم به صورت زیر است:

$Y= -0.568+3.968\ X_1+167.740\ X_2$

Y= ماده آلی از دست رفته (٪)، X_1= غلظت فسفر، X_2= غلظت منگنز

در رویشگاه استراسان برخلاف رویشگاه لاجیم سه متغیر لیگنین، منیزیم و کلسیم در مدل وارد شده و توانسته‌اند ۹۶/۹ درصد واریانس نرخ تجزیه را پیش‌بینی نمایند (جدول ۷).

جدول ۷- اطلاعات رگرسیون گام به گام متغیر تابع (درصد ماده آلی از دست رفته) و متغیرهای توصیف کننده (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، منگنز و لیگنین) در رویشگاه استراسان

Table 7. Step regression data of dependent variable (Mass loss %) and qualifier variables (N, P, K, Mg, Ca, Mn and Lignin) in Stråsan stand

معنی‌داری	میانگین مجذور رگرسیون	میانگین مجذور رگرسیون	درجه آزادی باقی‌مانده	درجه آزادی رگرسیون	مجذور ضریب همبستگی چندگانه تعدیل شده	مدل	متغیر وابسته
۰/۰۰۰	۳/۱۵۶	۴۴۱/۶۸۹	۱۴	۱	۰/۹۰۳	AUR	ماده آلی از دست رفته (٪)
۰/۰۰۰	۱/۳۳۲	۲۳۴/۲۷۸			۰/۹۵۹	Mg	
۰/۰۰۰	۱/۰۰۴	۱۵۷/۹۴۲			۰/۹۶۹	Ca	

بنابراین معادله رگرسیونی رویشگاه استراسان به صورت زیر است:

$Y= -96.592 +0.279\ X_1-19.3X_2-0.8\ X_3$

Y= ماده آلی از دست رفته (٪)، X_1= غلظت لیگنین، X_2= غلظت منیزیم، X_3= غلظت کلسیم.

بررسی کیفیت اولیه سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مختلف نشان داد که از نظر غلظت‌های عناصر غذایی اختلافاتی وجود دارد. غلظت‌های نیتروژن و کلسیم به‌ترتیب در رویشگاه‌های لاجیم و استراسان بیشترین مقادیر را به‌خود اختصاص داده بودند. براساس نظر منزونی و همکاران (۲۱) در اقلیم بوره‌آل در ابتدای فرایند تجزیه تثبیت در غلظت فسفر مشاهده می‌شود. این مساله به‌وضوح در رویشگاه استراسان دیده می‌شود. در پایان ۳۶۳ روز مطالعه نیز در این رویشگاه غلظت فسفر کمترین مقدار را داشته است. به‌عبارتی غلظت آن تجمع داشته و فرایند آزادسازی هنوز شروع نشده است. اما بالعکس در رویشگاه لاجیم معدنی‌سازی فسفر در این زمان شروع و مقدار غلظت آن مطابق با الگوی عمومی پویایی عناصر غذایی لاشبرگ بوده است. نوع گونه یک عامل غالب در تعیین سطوح عناصرغذایی در لاشبرگ است. در تحقیق حاضر با توجه به یکسان بودن نوع گونه درختی، غلظت‌های عناصر غذایی سوزن‌ها متفاوت هستند. به‌نظر می‌رسد اقلیم و ترکیب مواد معدنی خاک، سنگ مادر و هوموس از عوامل تاثیرگذار در این زمینه باشند (۳). بررسی کیفیت لاشبرگ‌ها در پایان ۳۶۳ روز مطالعه نشان داد که در رویشگاه لاجیم غلظت‌های عناصر غذایی، به‌جز منگنز، از رویشگاه استراسان بیشتر بود. همچنین غلظت لیگنین در رویشگاه استراسان بیشتر از لاجیم بود. الگوی پویایی غلظت‌های عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه لاجیم و استراسان به‌ترتیب به‌صورت Ca>N>Mn>K>Mg>P و Ca>N>P>K>Mg>Mn بود. همان‌طوری که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن به مرحله آخر فرایند، اختلافات در غلظت‌های عناصر غذایی سوزن‌ها کاهش و فقط غلظت منگنز و فسفر در دو رویشگاه متفاوت هستند. الدهاست و همکاران (۱۱) با بررسی پویایی عناصر غذایی سوزن‌های نوئل در غرب و شرق نروژ به مدت چهار و شش سال گزارش دادند که الگوی پویایی عناصر غذایی سوزن‌ها به‌صورت Ca>K>Mg>P>Mn>N است. در هردو رویشگاه لاجیم و استراسان، برخلاف نتایج الدهاست و همکاران (۱۱)، غلظت نیتروژن بیشتر بود. این مساله به طول مدت زمان مطالعه دو پژوهش مربوط می‌شود. در رویشگاه‌های غرب و شرق نروژ برخلاف رویشگاه‌های مورد بررسی، بعد از چهار و شش سال تثبیت نیتروژن مشاهده می‌شود. در حالی که در دو رویشگاه لاجیم و استراسان در مدت ۳۶۳ روز فرایند تجزیه هنوز معدنی‌سازی این عنصر در حال انجام است. الگوی

عمومی پویایی نیتروژن نشان می‌دهد که نیتروژن در ابتدا به‌دلیل تثبیت میکروبی با افزایش غلظت مواجه است و سپس در اثر تجمع از غلظت آن کاسته می‌شود (۳). تجمع و نگهداری نیتروژن در اثر فعالیت قارچ‌های ساپروفیت اتفاق می‌افتد که از طریق ریسه‌های خود باعث انتقال نیتروژن از اطراف لاشبرگ می‌شوند (۱۴) در عین حال این قارچ‌ها باعث حرکت نیتروژن از لاشبرگ به میسیلیوم‌های خود نیز می‌شوند (۲۰). موافق با یافته‌های الدهاست و همکاران (۱۱) و برگ و همکاران (۵) منگنز سوزن‌های نوئل در رویشگاه لاجیم تجمع یافته است. در حالی که در رویشگاه استراسان منگنز به‌مانند نیتروژن از نرخ معدنی‌سازی بیشتری برخوردار بوده است. تجمع و تثبیت منگنز در سوزن‌های در حال تجزیه می‌تواند به دلایل مشابهی که درخصوص نیتروژن ذکر شد، اتفاق افتاده باشد. تثبیت و نگهداری عناصر غذایی مانند نیتروژن و منگنز نشان‌دهنده ارزش و اهمیت آنها در تامین عناصر غذایی گیاهان در درازمدت است. تخریب و تجزیه لیگنین در لاشبرگ نسبت به سلولز و همی‌سلوز خیلی کندتر رخ می‌دهد. نتایج مربوط به پویایی لیگنین در دو رویشگاه مورد بررسی نشان داد که غلظت آن در رویشگاه استراسان بیشتر از رویشگاه لاجیم بوده است. دلیل این مساله به عدم آزادسازی کافی نیتروژن در این رویشگاه برمی‌گردد که نتوانسته است فعالیت آنزیم‌های تنظیم‌کننده تجزیه لیگنین را در قارچ‌ها افزایش دهد (۱). در حالی که در رویشگاه لاجیم معدنی‌سازی بیشتر نیتروژن تجزیه و تخریب بیشتر لیگنین را به‌همراه داشته است. تثبیت نیتروژن و پیوند آن با لیگنین از تخریب سریع آن ممانعت می‌کند (۲). کلوتزبوچر و همکاران (۱۹) گزارش داده‌اند که تخریب لیگنین از طریق قابلیت در دسترس بودن منابع کربنی که به آسانی تجزیه می‌شوند، تنظیم می‌شود. البته این اتفاق بیشتر در مراحل اول تجزیه رخ می‌دهد. نتایج مربوط به ماده آلی از دست رفته سوزن‌های نوئل در دو رویشگاه مورد بررسی نشان داد که در رویشگاه لاجیم تا ۱۰۳ روز مقدار ماده از دست رفته در رویشگاه لاجیم بیشتر بوده و سپس تا پایان دوره بررسی هیچ اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نمی‌شود. به نظر می‌رسد در رویشگاه لاجیم تا روز ۱۰۳ فرایند، معدنی‌سازی نیتروژن و متعاقب آن تخریب لیگنین نرخ تجزیه سوزن‌ها را کنترل می‌کرده و در رویشگاه استراسان نیز در پایان مدت زمان بررسی، منگنز مسئولیت تجزیه سوزن‌ها را برعهده داشته است. زیرا در آن زمان، منگنز برای تحریک مقادیر اولیه لیگنین به اندازه کافی موجود بوده است. به‌طوری که نتایج همبستگی بین ماده آلی از دست رفته سوزن‌ها با غلظت‌های اولیه عناصر غذایی در رویشگاه استراسان تایید کننده این مساله است (جدول ۶). براساس نظر فریرا و همکاران (۱۲) تجزیه لاشبرگ‌های با کیفیت پایین در برابر تغییر رویشگاه حساس نبوده و این مساله به‌روشنی در مورد تجزیه سوزن‌های نوئل در پایان مدت زمان بررسی در دو رویشگاه با اقلیم متفاوت مشاهده می‌شود. مقادیر محاسبه شده برای حد نهایی تجزیه در رویشگاه‌های لاجیم و استراسان نشان داد که حد نهایی تجزیه سوزن‌های نوئل در رویشگاه لاجیم (۳۳/۶۶ درصد) مشابه نتایج الدهاست و همکاران (۱۱) بوده و در مقابل نتایج رویشگاه استراسان در محدوده به‌دست آمده (۴۵/۴- ۰ درصد) توسط برگ و همکاران (۵) بود. همان‌طوری که مشاهده می‌شود حد نهایی تجزیه سوزن‌های نوئل در رویشگاه استراسان نسبت به رویشگاه لاجیم بالا بوده و متعاقب آن این رویشگاه نسبت به رویشگاه لاجیم از قابلیت پایین تشکیل هوموس برخوردار بوده است. براساس مطالعات انجام گرفته (۴،۱۵) حد نهایی تجزیه با مقادیر اولیه نیتروژن همبستگی معنی‌دار منفی دارد. در تحقیق حاضر نیز مشاهده می‌شود که غلظت اولیه نیتروژن سوزن‌های نوئل در رویشگاه استراسان کمتر از رویشگاه لاجیم بوده و این مساله مورد تایید قرار می‌گیرد. نتایج پیش‌بینی ماده آلی از دست رفته سوزن‌ها از طریق ترکیبات شیمیایی اولیه آنها نشان داد که در رویشگاه لاجیم فسفر و منگنز پیش‌بینی‌کننده نرخ تجزیه بوده (۹۶/۵ درصد) در حالی که در رویشگاه استراسان سه متغیر لیگنین، منیزیم و کلسیم توانسته‌اند ۹۶/۹ درصد واریانس نرخ تجزیه را پیش‌بینی نمایند. تفاوت در کیفیت اولیه سوزن‌ها منجر به ایجاد تفاوت‌هایی در پیش‌بینی‌کننده‌های نرخ تجزیه شده است. مساله قابل توجه اینکه عناصر فسفر، منگنز، منیزیم، کلسیم و غلظت لیگنین از پارامترهای مهم در نرخ تجزیه لاشبرگ هستند. با افزایش فسفر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها نیز افزایش می‌یابد (۱۵). منگنز نیز تحریک کننده فعالیت آنزیم‌های لیگنولیتیک بوده که در تجزیه لیگنین نقش دارند (۲). لیگنین و کلسیم از جمله عوامل اصلی تاثیرگذار بر نرخ تجزیه لاشبرگ در پایان مرحله اول تجزیه (گذشت حدود یکسال از شروع فرایند تجزیه) بوده و منیزیم نیز در تجزیه لاشبرگ‌ها به مانند کلسیم نقش اساسی دارد (۲).

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که نرخ تجزیه سوزن‌های نوئل در هر دو رویشگاه مورد بررسی اختلاف معنی‌داری باهم نداشته لذا فرضیه اول تحقیق رد می‌شود. پویایی عناصر غذایی در هر دو رویشگاه از الگوی عمومی پیروی کرده بنابراین فرضیه دوم تحقیق پذیرفته شد. براساس نتایج مشخص شد نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی و لیگنین سوزن‌های نوئل در رویشگاه لاجیم نه تنها ضعیف نبوده بلکه در خیلی از متغیرها نظیر غلظت‌های عناصر غذایی مهم سوزن‌ها، به‌ویژه غلظت نیتروژن، پتانسیل تشکیل هوموس و نرخ ثابت تجزیه از رویشگاه طبیعی آن بیشتر بوده است. بنابراین مشاهده می‌شود که درخت نوئل از لحاظ تجزیه لاشبرگ و پویایی عناصر غذایی آن موفق عمل کرده است. لذا پیشنهاد می‌شود با توجه به عملکرد پویایی عناصر غذایی و تجزیه سوزن‌های نوئل و داشتن اثرات غیرافزایشی مثبت در تجزیه لاشبرگ گونه راش، که در تحقیقات گذشته (۱۶) اثبات شده است، در رویشگاه‌های کوهستانی منطقه هیرکانی به‌همراه سایر گونه‌های بومی، مخصوصا راش، جنگل‌کاری شود.

منابع

1. Berg, B. and R. Laskowski. 2006. Changes in substrate composition and rate regulating factors. In litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. Elsevier, London, 421 pp.
2. Berg, B. and C. McClaugherty. 2008. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
3. Berg, B. and C. McClaugherty. 2014. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. 3rd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
4. Berg, B., A. De Marco, M. Davey, B. Emmett, S. Hobbie, C. Liu, C. McClaugherty, L. Norell, M.B. Johansson, F. Rutigliano, L. Vesterdal and A. Virzo De Santo. 2010. Limit values for foliar litter decomposition – pine forests. Biogeochemistry, 100: 57-73.
5. Berg, B., B. Erhagen, M.B. Johansson, L. Vesterdal, M. Faituri, P. Sanborn and M. Nilsson. 2013. Manganese dynamics in decomposing needle and leaf litter – a synthesis. Canadian Journal of Forest Research, 43: 1127-1136.
6. Berg, B., K.T. Steffen and C. McClaugherty. 2007. Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations. Biogeochemistry, 82(1): 29-39.
7. Cleveland, C.C., S. Reed, A. Keller, D. Nemergut, S. O'Neill, R. Ostertag and P. Vitousek. 2014. Litter quality versus soil microbial community controls over decomposition: a quantitative analysis. Oecologia, 174(1): 283-294.
8. Cotrufo, M.F., M.D. Wallenstein., C.M. Boot, K. Denef and E. Paul. 2013. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter? Global Change Biology, 19: 988-995.
9. Datry, T., R. Corti, C. Claret and M. Philippe. 2011. Flow intermittence controls leaf litter breakdown in a French temporary alluvial river: the "drying memory". Aquatic Sciences, 73: 471-483.
10. Delgado-Baquerizo, M., P. García-Palacios, R. Milla, A. Gallardo and F.T. Maestre. 2015. Soil characteristics determine soil carbon and nitrogen availability during leaf litter decomposition regardless of litter quality. Soil Biology and Biochemistry, 81: 134-142.
11. Eldhuset, T.D., O.J. Kjønaas and H. Lange. 2017. Decomposition rates and nutrient dynamics of Picea abies needles, twigs and fine roots after stem-only harvesting in eastern and western Norway. Plant Soil, 418: 357-375.
12. Ferreiraa, V., J. Korichevab, J. Pozoc and A.S.M. Graçaa. 2016. A meta-analysis on the effects of changes in the composition of native forests on litter decomposition in streams. Forest Ecology and Management, 364: 27-38.
13. Freschet, G. T., R. Aerts and J.H.C. Cornelissen. 2012. Multiple mechanisms for trait effects on litter decomposition: moving beyond home-field advantage with a new hypothesis. Journal of Ecology, 100 (3): 619-630.
14. Frey, S.D., E.T. Elliott, K. Paustian and G.A. Peterson. 2000. Fungal translocation as a mechanism for soil nitrogen inputs to surface residue decomposition in a no-tillage agro ecosystem. Soil Biology and Biochemistry, 32: 689-698.
15. Ghasemi Aghbash, F. and M. Zarafshar. 2018. Leaf litter Decomposition and Nutrient Dynamics of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in the Northern Zagros Forests (Case Study: Chahar Zabar forests of Kermanshah). Iranian Journal of Forest, 10(3): 347-359 (In Persian).
16. Ghasemi Aghbash, F., GH.A. Jalali, V. Hosseini, S.M. Hosseini and B. Berg. 2012. 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. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(2): 286-298 (In Persian).
17. Ghasemi Aghbash, F., GH.A. Jalali, V. Hosseini and S.M. Hosseini. 2014. Assessment of Home – Field Advantage (HFA) of Litter Decomposition in Beech and Alder Sites and in Norway spruce Plantation of Lajim Region. Iranian Forests Ecology, 2(3): 13-25 (In Persian).
18. Gulis, V., V. Ferreira and M.A.S. Graça., 2006. Stimulation of leaf litter decomposition and associated fungi and invertebrates by moderate eutrophication: implications for stream assessment. Freshwa. Biol, 51: 1655-1669.
19. Klotzbücher, T., K. Kaiser, G. Guggenberger, C. Gatzek and K. Kalbitz. 2011. A new conceptual model for the fate of lignin in decomposing plant litter. Ecology, 92: 1052-1062.
20. Lindahl, B.D., K. Ihrmark, J. Boberg, S. Trumbore, P. Högberg, J. Stenlid and R.D. Finlay. 2007. Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in boreal forests, New Phytologist, 173: 611-620.
21. Manzoni, S., J.A. Trofymow, R.B. Jackson and A. Porporato. 2010. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in decomposing litter. Ecological Monographs, 80: 89-106.
22. Parton, W., W.L. Silver, I.C. Burke., L. Grassens, M.E. Harmon, W.S. Currie, J.Y. King, E.C. Adair, L.A. Brandt and S.C. Hart., 2007. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. Science, 315 (5810): 361-364.
23. Verne, I.K. 2017. Decomposition of Beech and Spruce Litter in Neighboring Beech and Spruce Forests. Master's Thesis, Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management, Norwegian University of Life Sciences, 29 pp.
24. Young, R.G., C.D. Matthaei and C.R. Townsend. 2008. Organic matter breakdown and ecosystem metabolism: functional indicators for assessing river ecosystem health. Journal of the North American Benthological Society, 27(3): 605-625.

Nutrient Dynamics and Decomposition rate of Norway Spruce Needles in Stråsan and Lajim Stands

Farhad Ghasemi Aghbash[1] and Björn Berg[2]

1- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran, (Corresponding author: f.ghasemi@malayeru.ac.ir)
2- Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, Finland

Received: January 28, 2019 Accepted: February 12, 2019

Abstract

Habitat change leads to differences in the rate of decomposition and nutrient dynamics of leaflitters, which has many effects on the controlling factors of the decomposition process. In the present study, the rate of decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce were evaluated for 363 days in the two forestation sites in the natural and foreign habitats, Stråsan and Lajim. Nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, manganese and lignin, as well as Limit value, constant coefficient of decomposition and production capacity of humus were investigated using standard methods in both habitats. Nutrient and lignin concentrations were measured individually in each country using the same measurement method. The results showed that the initial quality of needles, except for calcium and manganese, in Lajim habitat (the concentrations of nutrients in nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium were 12.63, 1.23, 9.85, and 1.51 mg/g) was better than Stråsan (the concentrations of calcium and manganese were 13.4 and 1.38 mg/g). The dynamics pattern of nutrients in two habitats was similar during the study period, but in 363 day, there were significant differences (p <0.05) in the concentrations of manganese and phosphorus. The remaining weight in two habitats at the end of the period did not show any significant difference (Lajim and Stråsan habitats were 77.69% and 77.92% respectively). The constant coefficient of decomposition and production capacity of humus in Lajim habitat was higher (respectively, 0.24% per day and 66 fractions) than Stråsan habitat (respectively, 0.1% per day and 55 fractions). Based on the stepwise regression, in the Lajim habitat the concentrations of phosphorus and manganese and in the Stråsan the concentrations of lignin, magnesium and calcium were the only variables which explained mass loss variation. In general, the results of this study showed that Norway spruce in Lajim habitat was successful in the view point of the decomposition and nutrient dynamism and in the compared to its natural habitat, and could be used in the Hyrcanian mountain forest for reforestation projects.

Keywords: Boreal forests, Decomposition rate, Habitat change, Leaflitter quality, Norway spruce