دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

اثر شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن بر مشخصه‌های شیمیایی خاک در توده دست‌کاشت کاج رادیاتا (*Pinus radiata*)

اعظم السادات نورایی[۱]، حمید جلیلوند[۲]، سید محمد حجتی[۳] و سید جلیل علوی[۴]

۱- دانش آموخته دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی (نویسنده مسوول: hj_458_hj@yahoo.com)
۳- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، نور، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳
صفحه: ۷۵ تا ۸۵

چکیده

نیاز بشر به‌منظور تأمین غذا و انرژی منجربه تغییرات عمده در میزان دسترسی به نیتروژن فعال در بیوسفر شده است در این رابطه آزمایش‌های شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن یکی از سریعترین روش‌ها به‌منظور بررسی عکس‌العمل گونه‌های گیاهی در برابر نیتروژن اضافی است. هدف این پژوهش تعیین تاثیر ته‌نشست نیتروژن بر مشخصه‌های خاک در توده دست‌کاشت و وارداتی کاج رادیاتا (*Pinus radiata* D. Don.) بود. در این مطالعه تعداد سه تکرار و چهار تیمار به‌طور تصادفی در ۱۲ قطعه نمونه ۱۰×۲۰ متر در نظر گرفته شد. تیمارهای شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن شامل، صفر (شاهد)، (۵۰، کم)، (۱۰۰، متوسط) و (۱۵۰، زیاد) کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال بود. نیتروژن به‌صورت محلول آمونیم- نیترات (NH_4NO_3) در هر قطعه‌نمونه به‌صورت دستی و ماهانه در طول یکسال اسپری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مشخصه‌های خاک در سطوح مختلف نیتروژن و فصول مختلف و اثر متقابل فصل و تیمار دارای اختلاف معنی‌داری (P_{value}<۰/۰۱) بوده است. در این ارتباط و در پایان دوره شبیه‌سازی، کمترین میزان تغییرات pH خاک، مربوط به تیمار زیاد (۶/۰±۰/۱۱) و بیشترین میزان آن در تیمار شاهد (۶/۰±۸/۳) مشاهده شد. در ارتباط با میزان نیتروژن کل بیشترین میزان در سطوح زیاد (۰/۰±۵۵/۰۲) اضافه‌کردن نیتروژن بود. اما در رابطه با پتاسیم و فسفر تیمار شاهد به‌ترتیب با (۳۶۸±۳)، (۱۲±۱/۶) (میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای بیشترین و سطوح بالای اضافه‌کردن نیتروژن (۲۶۶±۲/۸) (۶/۷±۰/۷) (میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای کمترین میزان پتاسیم و فسفر بود. در این مطالعه به‌دلیل افزایش میزان نیترات که با اضافه‌کردن نیترات آمونیوم در فرایند شبیه‌سازی نیتروژن حاصل می‌شود نیترات در خاک به حالت اشباع درآمده و در خاک متحرک شده و با اتصال به کاتیون‌های قلیایی آبشویی شده و کاهش pH خاک را به‌دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، آمونیوم، کاج رادیاتا، نیترات

مقدمه

نیاز بشر به‌منظور تأمین غذا و انرژی منجر به تغییرات عمده در میزان دسترسی به نیتروژن واکنش‌پذیر[۱] در بیوسفر شده است. به‌دلیل فعالیت‌های انسانی میزان نیتروژن ورودی به زمین به ده برابر افزایش یافته و از ۱۵ در ۱۸۶۰ به ۱۵۶ ترا گرم نیتروژن در سال[۲] در اوایل ۱۹۹۰ رسیده است و پیش‌بینی می شود که تا میزان ۲۷۰ ترا گرم نیتروژن در سال در ۲۰۵۰ افزایش یابد (۱۷). این افزایش در میزان نیتروژن، بوم‌نظام‌های سراسر جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۴). امروزه یک اجماع نظر کلی در رابطه با افزایش ته‌نشست نیتروژن اتمسفر وجود دارد؛ و نیتروژن اضافی ناشی از فعالیت‌های انسانی منجر به‌ظهور یکی از جدی‌ترین مشکلات در رابطه با تغییرات جهانی شده است (۳۰). اما آنچه به اهمیت این مسأله می‌افزاید اثر قابل توجه ته‌نشست نیتروژن در بوم‌نظام‌های خاکی به‌ویژه در جنگل‌ها می‌باشد. ته‌نشست نیتروژن بخش‌هایی از جنگل از جمله پوشش‌گیاهی، خاک، حیوانات، قارچ‌ها و موجودات میکروبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود اینکه ممکن است افزایش کوتاه‌مدت نیتروژن در بوم‌نظام‌های جنگلی یک اثر تقویت‌کننده برروی بهره‌وری جنگل داشته باشد اما ورودی زیاد و بلندمدت آن اثرات مخربی بر بوم‌نظام جنگل خواهد داشت (۱۴).

بسیاری از پژوهش‌ها به بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف نیتروژن بر زیست‌شیمی خاک و ترکیب پوشش گیاهی در جنگل‌ها پرداخته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعات از تأثیرات بی‌شمار چرخه نیتروژن برروی بوم سامانه‌ها اعم از: معدنی‌شدن و نیتریفیکاسیون (۱)، غنا و ترکیب گونه‌های گیاهی (۷) و فراوانی نسبی آنها (۱۸) نام برده‌اند. افزون بر آن، آبشویی نیتروژن خاک که به‌دلیل اشباع آن در خاک ایجاد می‌شود، موجب شسته‌شدن همزمان کاتیون‌های قلیایی‌شده (۱۳)، این امر تهدید بیشتری را برای تعادل مواد مغذی گیاهی به‌همراه دارد. همچنین مطالعات به‌بررسی تأثیر چرخه نیتروژن بر چرخه کربن زیرزمینی نیز اشاره نموده و بیان داشتند که میزان آن بستگی به نوع بوم‌نظام و طول مدتی است که آن بوم‌نظام در معرض افزایش غلظت نیتروژن قرار می‌گیرد دارد (۲۶). همانطور که بیان شد ته‌نشست نیتروژن و افزایش نیتروژن فعال اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های مختلف بوم‌نظام جنگل می گذارد؛ بویژه در شمال کشور که تغییرات عمده کاربری، سوخت-های فسیلی، دامداری‌ها و کارخانجات تأثیرات زیادی بر چرخه نیتروژن داشته است. اما با تمام مسائل یادشده تاکنون تنها مطالعه تفضلی و همکاران (۳۴) به‌بررسی تأثیر ته‌نشست نیترون در توده افرا پلت پرداخته است و این نشان می‌دهد که مطالعه

1- Reactive Nitrogen (Nr)
2- TgN yr-1

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

در زمینه بررسی میزان ته‌نشست در جنگل‌های شمال، عکس-العمل بوم‌نظام جنگلی شمال و گونه‌های مختلف در برابر ته‌نشست نیتروژن (اعم از خاک، میکروارگانیسم‌ها، سرعت تجزیه لاشبرگ) بسیار اندک بوده است؛ چه‌بسا بررسی عکس‌العمل گونه‌ها به‌ویژه گونه‌های جنگل‌کاری‌شده می‌تواند به شناخت و بررسی میزان بردباری گونه‌ها در برابر هر نوع از تغییرات اقلیمی بی‌انجامد و راهکارهای مدیریتی مناسب را در جهت شناخت گونه‌ها بیان نماید، به‌ویژه گونه‌های خارجی که بردباری کمتری در برابر شرایط اقلیمی از خود نشان داده و تمام مسائل یادشده لزوم انجام این تحقیق را بیان می‌نماید. هدف از این پژوهش بررسی میزان نیتروژن جوی حاصل از تاج بارش، ورودی لاشبرگ در توده کاج و اثرات نیتروژن شبیه‌سازی‌شده بر توده دست‌کاشت کاج رادیاتا بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در توده جنگل‌کاری کاج رادیاتا (*Pinus radiate* D. Don.) واقع در سری مهدشت جنگل‌های چوب و کاغذ مازندران واقع در شهرستان ساری انجام شد. این سری که در فاصله حدود هفت کیلومتری شمال غربی مرکز اداری و مجتمع صنعتی شرکت چوب و کاغذ مازندران و حدود شش کیلومتری جنوب غربی شهرستان ساری واقع شده و از شمال به زمین‌های زراعی منطقه، از جنوب به سری پرچینک، از شرق به جاده ساری-کیاسر و از غرب به سری افراتخت محدود می‌باشد. این توده در پارسل دو، سری چهار مهدشت و به‌صورت خالص و دست کاشت و در عرض شمالی (۳۱، ۲۷، ۳۶° تا ۵۸، ۳۱، ۳۶) و طول شرقی (۳۲، ۱، ۵۳ تا ۲،۰۵ ،۵۳°) واقع شده است؛ توده دارای میانگین سنی ۲۰ سال و دارای فاصله کاشت ۳×۳ بوده و در ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا با شیب پنج درصد استقرار دارد، متوسط دما در گرمترین ماه سال (مرداد ماه) ۳۱/۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط دما در سردترین ماه سال (دی ماه) ۲/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای سالیانه ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد ضمن اینکه کمینه و بیشینه دمای مطلق که به‌ترتیب به ماه‌های دی و خرداد تعلق دارد ۹- و ۴۴ درجه سانتی‌گراد است؛ مجموع باران سالیانه ۹۴۷/۴ میلی‌متر می‌باشد (۳).

روش نمونه‌برداری

آزمایش شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن

برای انجام این پژوهش، تعداد ۱۲ قطعه‌نمونه ۱۰×۲۰ متر با سه تکرار و چهار تیمار به‌طور تصادفی در منطقه مورد نظر پیاده شد. به‌منظور عدم تأثیر تیمارها بر یکدیگر، فاصله ده متر به-عنوان بافر بین قطعات‌نمونه در نظر گرفته شد. برای پیاده‌سازی آزمایش ته‌نشست نیتروژن، از محلول NH_4NO_3 (نیترات آمونیوم) در چهار سطح: صفر (شاهد)، کم (۵۰)؛ متوسط (۱۰۰) و زیاد (۱۵۰) برحسب کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال[1] (۲۴) (۳۳) استفاده شد. NH_4NO_3 با آب مخلوط شده و محلول مورد نظر هر ماه بروی سطح هر قطعه نمونه اسپری شد؛ در تیمار شاهد به همان اندازه آب به زیراشکوب اسپری شد (۲۹). در هر قطعه‌نمونه سه عدد جمع‌آوری‌کننده بارش و سه عدد تله لاشبرگ نیز مستقر شد. نمونه‌برداری از تیمارها در چهار فصل سال در ماه‌های (آبان، بهمن، اردیبهشت و مرداد) انجام و فاکتورهای مورد نظر اندازه-گیری شد. روش نمونه‌برداری هر یک (تاج‌بارش، لاشبرگ و خاک) در زیر به تفکیک توضیح داده شده است.

اندازه‌گیری مشخصه‌های شیمیایی تاج بارش

به‌منظور اندازه‌گیری میزان و بررسی عناصر موجود در تاج بارش، بارندگی در طی هر بارش با استفاده از سه عدد جمع‌آوری‌کننده باران با قطر دهانه نه سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در هر قطعه نمونه جمع‌آوری شد. مقدار (حجم) بارندگی در طی هر بارش با استفاده از یک دستگاه استوانه مدرج، تا دقت یک میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری هر بارش، جمع‌آوری‌کننده‌ها بعد از تخلیه‌شدن آب و تمیزکردن آن‌ها از شاخ و برگ و نیز خشک‌کردن، در جای خود قرار داده شدند (۱۲،۲).

به‌منظور محاسبه عمق بارندگی جمع‌آوری‌شده توسط هر یک از جمع‌آوری‌کننده‌ها از رابطه بین حجم بارش ذخیره‌شده در هر جمع‌آوری‌کننده و سطح (مساحت دهانه ورودی جمع‌آوری‌کننده) آن استفاده شد (رابطه ۱).

$$D_{GR} = \frac{V_{GR}}{A_C} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در رابطه بالا: D_{GR}: عمق بارندگی؛ V_{GR}: حجم بارندگی جمع‌آوری‌شده توسط جمع‌آوری‌کننده و A_C: مساحت دهانه ورودی جمع‌آوری‌کننده بارندگی می‌باشد. لازم به‌ذکر است که میانگین عمق بارندگی جمع‌آوری‌شده توسط باران‌سنج، به‌عنوان متوسط حجم تاج بارش در طی هر رخداد در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری مشخصه‌های شیمیایی لاشبرگ

در هر قطعه نمونه سه عدد تله جمع‌آوری‌کننده لاشبرگ نیز نصب شد که میزان و ترکیب شیمیایی لاشبرگ اندازه‌گیری گردید. پس از اندازه‌گیری وزن لاشبرگ‌های موجود در سبد در هر ماه، نمونه‌ها برای بررسی مشخصه‌های شیمیایی لاشبرگ (شامل کربن، نیتروژن، پتاسم و فسفر) در هر فصل جمع‌آوری و بعد از کدگذاری به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت اندازه‌گیری عناصر شیمیایی موجود در لاشبرگ نیتروژن کل با روش کجلدال، فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و کربن به روش کوره (احتراق) اندازه‌گیری شد.

بررسی آزمایشگاهی

به‌منظور بررسی عناصر موجود در تاج بارش، مقدار واکنش خاک با pH متر و هدایت الکتریکی با EC متر قرائت شد. مقدار نیترات و فسفات موجود درتاج بارش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی عناصر شیمیایی موجود در خاک در آزمایشگاه ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل واکنش خاک (pH) به‌روش پتانسیومتری هدایت الکتریکی

1- Kg N $ha^{-1}yr^{-1}$

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

(EC) به‌روش هدایت‌سنجی، کربن آلی (OC) به‌روش والکی و بلاک، نیتروژن (N) به‌روش کجلدال، فسفر (P) قابل جذب با روش اولسن و پتاسیم (K) با روش عصاره‌گیری با استات آمونیم اندازه‌گیری شدند (۲۰،۴).

تجزیه و مقایسه داده‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در هر تیمار (دوازده قطعه نمونه) انجام شد. در ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلکس و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. برای بررسی اثرات متقابل فصل و تیمار از تجزیه واریانس دوطرفه و برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.کلیه تجزیه و مقایسه داده‌ها با نرم‌افزار SPSS v.22 انجام شد.

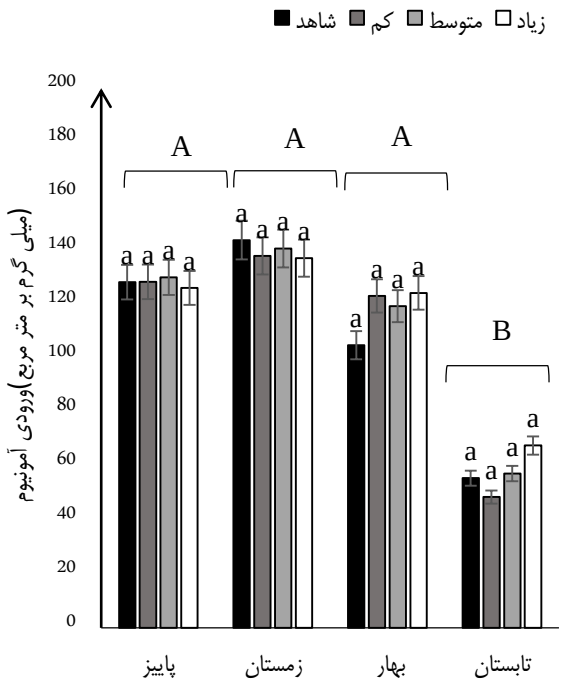
نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه، مربوط به عناصر موجود در تاج‌بارش در توده کاج رادیاتا نشان داد که بیشترین تاج‌بارش مربوط به زمستان (بهمن‌ماه) و کمترین میزان تاج‌بارش با اختلاف معنی داری مربوط به تابستان (تیر و شهریورماه) بود. در ارتباط با میزان pH، در تابستان و بهار به‌طور معنی‌داری از پاییز و زمستان بیشتر بوده است، به‌لحاظ میزان EC تاج‌بارش میزان آن در پاییز و زمستان به‌طور معنی‌داری ($P_{value}<۰/۰۱$) از بهار و تابستان بیشتر می‌باشد. در ارتباط با غلظت نیترات و آمونیوم، در تابستان و بهار بیشترین غلظت نیترات و آمونیوم در تاج بارش وجود داشته که با دیگر فصول اختلاف معنی‌داری ($P_{value}<۰/۰۱$) داشته است. غلظت پتاسیم نیز به‌ترتیب در تابستان، پاییز و بهار بیشتر بوده است و در زمستان از غلظت پتاسیم موجود در تاج‌بارش کاسته شد. کمینه و بیشنینه غلظت فسفات موجود در تاج‌بارش نیز مربوط به زمستان و تابستان بوده است (جدول ۱).

مقایسه میزان تاج‌بارش در فصول مختلف نشان داد که تاج بارش در زمستان به‌طور معنی‌داری ($P_{value}<۰/۰۵$) بیشتر از فصول دیگر بود اما در سطوح مختلف تیمارهای ته‌نشست نیتروژن اختلاف معنی‌داری در میزان تاج‌بارش مشاهده نشد. علاوه‌بر این نتایج نشان داد که تغییرات در میزان تاج‌بارش در فصول مختلف ورودی عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار داده است. در این ارتباط بیشترین میزان ورودی آمونیوم از طریق تاج‌بارش در زمستان و کمترین میزان در تابستان بوده است (شکل ۱). در ارتباط با ورودی نیتراتی که از طریق تاج‌بارش وارد می‌شود، زمستان بیشترین و تابستان و بهار کمترین میزان را به‌خود اختصاص داده‌اند که به‌طور معنی‌داری ($P_{value}<۰/۰۱$) در این فصول کاهش یافت، (شکل ۲). همچنین کمترین میزان ورودی پتاسیم که از طریق تاج‌بارش مربوط به تابستان و بیشترین میزان آن مربوط به زمستان و پاییز است که به‌طور معنی‌داری ($P_{value}<۰/۰۱$) در این فصول افزایش یافته بود، ولی با وجود بارش بیشتر در زمستان و پاییز غلظت فسفات در تابستان و بهار بیشتر از پاییز و زمستان بوده است (شکل ۳).

در این مطالعه میزان لاشبرگ ورودی و عناصر موجود در آن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت تا علاوه‌بر ورودی عناصر از طریق تاج‌بارش ورودی عناصر از طریق لاشبرگ نیز مورد محاسبه قرار گیرد. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری نشان داد که بیشترین میزان لاشبرگ‌ریزی در پاییز و کمترین میزان آن در بهار بوده است (شکل ۵). نتایج حاصل از بررسی تأثیر تیمارهای ته‌نشست نیتروژن برروی میزان لاشه‌ریزی نشان داد که اختلاف معنی-داری بین سطوح اضافه‌کردن نیتروژن وجود نداشت ($P_{value}>۰/۰۵$). در این ارتباط بیشترین میزان کربن لاشبرگ مربوط به پاییز و بهار بوده است، ولی در رابطه با نیتروژن موجود در لاشبرگ تابستان بیشترین میزان را به‌خود اختصاص داد. اگرچه این مسئله در رابطه با فسفر و پتاسیم نیز مشاهده شد و بیشترین میزان آن مربوط به بهار و تابستان بوده است. نتایج این بررسی نشان داد که تیمارهای نیتروژن تأثیری بر غلظت عناصر در لاشبرگ‌ریزی نداشته‌اند (جدول ۲).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]



شکل ۱- میانگین (± اشتباه‌معیار) ورودی آمونیوم در تاج‌بارش (حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین سطوح اضافه‌کردن نیتروژن و حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میان فصول مختلف می‌باشد (در سطح ۵ درصد))

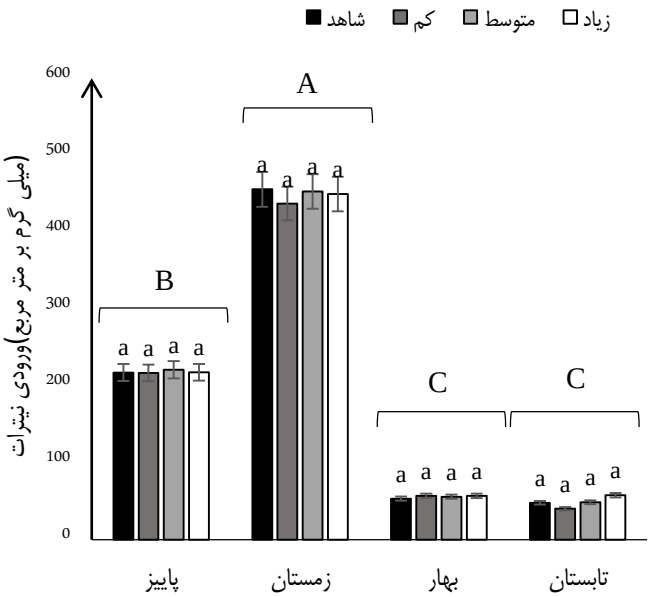
Figure 1. Mean (±ED) of monthly ammonium fluxes in rainfall (different lowercase letters indicate significance (P<0.05) differences treatments of nitrogen addition and different capital letters indicate significant (P<0.05) differences among seasons

جدول ۱- میانگین تاج‌بارش (میانگین± اشتباه‌معیار) و غلظت عناصر موجود در تاج‌بارش در فصول مختلف در توده کاج رادیاتا

Table 1. Mean (±ED) of monthly precipitation and nutrient concentrations in rainfall in different season in *Pinus radiata* stand

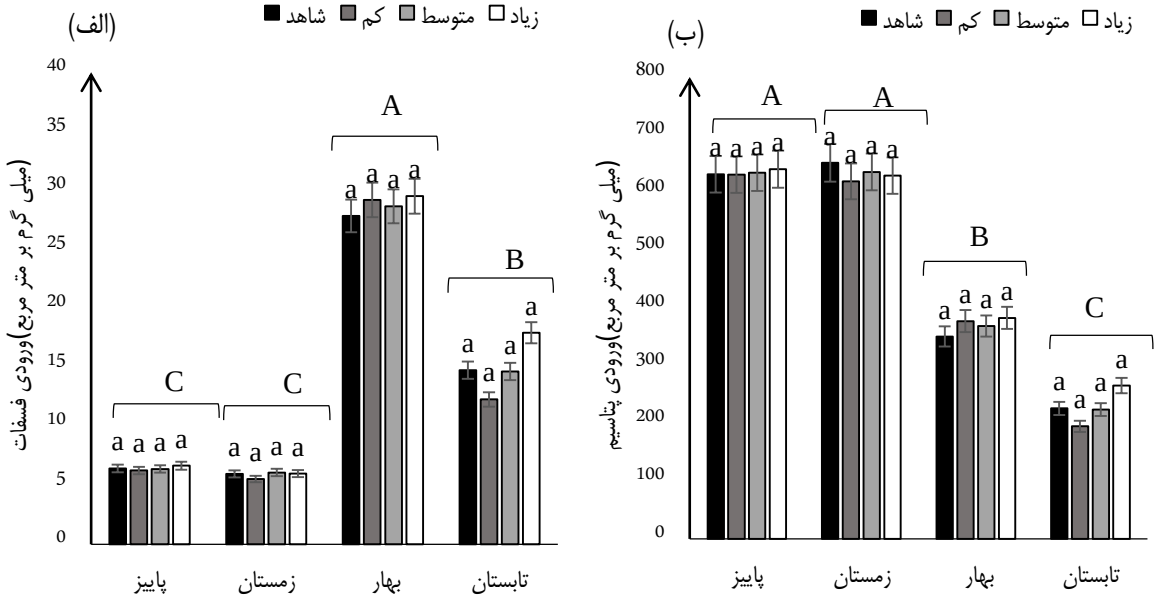
عناصر شیمیایی	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	آماره F	Sig
تاج‌بارش (میلی‌لیتر در ماه)	۷۱±۱^{b}	۹۷ ± ۰/۹^{a}	۲۳ ± ۱^{c}	۱۰ ± ۰/۸^{d}	۳۰۵۰/۹۷	۰/۰۰۰
pH	۵/۵±۰/۰۴^{c}	۵/۴±۰/۰۴^{c}	۶/۷±۰/۰۳^{b}	۶/۹±۰/۰۳^{a}	۴۵۶/۸۳	۰/۰۰۰
EC (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۲±۰/۰۰^{b}	۰/۱±۰/۰۰^{c}	۰/۳۱±۰/۰۵^{a}	۰/۳±۰/۰۱^{a}	۲۷۴/۸۲	۰/۰۰۰
نیترات(میلی‌گرم بر لیتر)	۳/۱±۰/۱^{b}	۴/۶±۰/۱۲^{a}	۲/۴±۰/۱^{c}	۴/۷±۰/۲^{a}	۱۰۹/۹۲	۰/۰۰۰
آمونیوم (میلی‌گرم بر لیتر)	۱/۸±۰/۰۵^{c}	۱/۴±۰/۰۵^{d}	۵/۲±۰/۱۱^{b}	۵/۴±۰/۱۱^{a}	۵۰۹/۰۷	۰/۰۰۰
پتاسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۹/۰۵±۰/۱^{c}	۶/۵۵±۰/۱^{d}	۱۶/۱±۰/۲^{b}	۲۲/۱±۰/۴^{a}	۱۰۲۵/۳۱	۰/۰۰۰
فسفات (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۹±۰/۰۱^{c}	۰/۰۶±۰/۰۱^{c}	۱/۲۵±۰/۰۳^{b}	۱/۴±۰/۰۳^{a}	۹۶۳/۷۰	۰/۰۰۰

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]



شکل ۲- میانگین (± اشتباه‌معیار) ورودی نیترات در تاج‌بارش (حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین سطوح اضافه‌کردن نیتروژن و حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میان فصول مختلف می‌باشد (در سطح ۵ درصد))

Figure 2. Mean (±ED) of monthly Nitrate in rainfall (different lowercase letters indicate significance (P<0.05) differences treatments of nitrogen addition and different capital letters indicate significant (P<0.05) differences among seasons)



شکل ۳- میانگین (± اشتباه‌معیار) ورودی فسفات (الف) و پتاسیم (ب) در تاج‌بارش (حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین سطوح اضافه‌کردن نیتروژن و حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میان فصول مختلف می‌باشد (در سطح ۵ درصد))

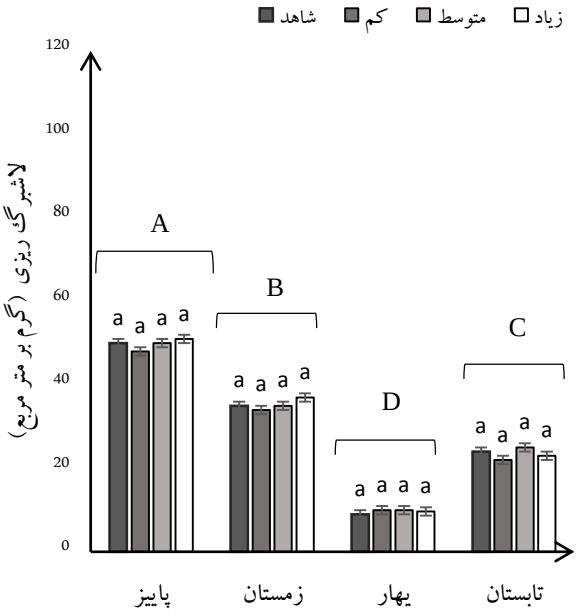
Figure 3. Mean (±ED) of monthly Phosphate and Potassium in rainfall (different lowercase letters indicate significance (P<0.05) differences treatments of nitrogen addition and different capital letters indicate significant (P<0.05) differences among seasons)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

جدول۲- غلظت عناصر ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ریزی (میانگین± اشتباه‌معیار) در فصول مختلف در توده کاج رادیاتا

Table 2. Elements in the chemical composition of the litterfall (Mean ±ED) in different seasons in *Pinus radiata* stand

غلظت عناصر	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	آماره F	Sig
کربن آلی (درصد)	۳۶/۲±۰/۳^{a}	۳۰/۱±۰/۲^{b}	۳۵/۰±۰/۱^{a}	۲۶/۲±۰/۱^{c}	۳۱/۴۳	۰/۰۰۰
نیتروژن (درصد)	۱/۲±۰/۰۱^{c}	۱/۱±۰/۰۱^{d}	۱/۳±۰/۰۱^{b}	۱/۴±۰/۰۱^{a}	۴۲۰/۵۶	۰/۰۰۰
فسفر (درصد)	۰/۰۴±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۴±۰/۰۰۵^{b}	۰/۰۷±۰/۰۰۵^{a}	۰/۰۵±۰/۰۰۴^{a}	۲۴/۱۸	۰/۰۰۰
پتاسیم (درصد)	۱/۶±۰/۰۲^{c}	۱/۵±۰/۰۲^{d}	۲/۴±۰/۰۴^{b}	۴/۱±۰/۰۴^{a}	۱۴۲۹/۲۵	۰/۰۰۰



شکل ۵- میزان لاشبرگ‌ریزی در تیمارهای مختلف اضافه‌کردن نیتروژن در فصول مختلف

Figure 5. The rate of litterfall in different nitrogen deposition treatments and different seasons (similar letters indicate no significant differences (P>0.05) between different nitrogen deposition treatments within each season).

نتایج تجزیه واریانس عناصر خاک در سطوح مختلف اضافه کردن ته‌نشست نیتروژن و فصول مختلف نشان می‌دهد که فاکتورهای اندازه‌گیری شده در این مطالعه مانند pH، EC، نیترژن، فسفر و پتاسیم و کربن در فصول، تیمارهای مختلف اضافه کردن نیتروژن و اثر متقابل آنها دارای اختلاف معنی‌دار (P_{value}<۰/۰۱) بوده است. نتایج حاصل از بررسی میزان عناصر و تأثیر تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن بروی مشخصه‌های شیمیایی خاک نشان داد که کمترین میزان pH خاک مربوط به بهار و تابستان و در تیمارهای زیاد و متوسط اضافه‌کردن نیتروژن و بیشترین میزان در تیمار شاهد مشاهده شده است. در رابطه با EC خاک، میزان آن در تیمارهای زیاد و متوسط اضافه‌کردن نیتروژن بیشترین و در تیمار شاهد کمترین بوده است که در بهار و تابستان بر میزان آن افزوده شده بود. در ارتباط با میزان نیتروژن کل بیشترین میزان در بهار و تابستان و در سطوح متوسط و زیاد اضافه‌کردن نیتروژن بوده است. اما در رابطه با پتاسیم و فسفر، تیمار شاهد دارای بیشترین و سطوح بالای اضافه‌کردن نیتروژن دارای کمترین میزان پتاسیم و فسفر بوده است، پتاسیم در بهار و فسفر در تابستان بیشترین مقدار خود را داشته است. در ارتباط با بررسی میزان کربن خاک نیز روند افزایش کربن با افزایش میزان اضافه‌کردن نیتروژن مشاهده شده بود (جدول ۴).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عناصر خاک در سطوح مختلف اضافه‌کردن ته‌نشست نیتروژن (شاهد، کم، متوسط و زیاد) و فصول مختلف
Table 3. The results of soil nutrients concentrations ANOVA test in different nitrogen deposition treatments (low, medium and high) and deferent seasons in Pinus radiata stand.

عناصر		آماره F	Sig
pH	فصل	۹۱/۴۷۸	۰/۰۰۰
	تیمار	۱۹۱/۴۲۰	۰/۰۰۰
	فصل× تیمار	۱۴/۶۴۱	۰/۰۰۰
EC (دسی‌زیمنس بر متر)	فصل	۳۱۳/۵۶۰	۰/۰۰۰
	تیمار	۳۷/۶۴۲	۰/۰۰۰
	فصل× تیمار	۶/۱۱۵	۰/۰۰۰
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فصل	۵۳۷/۴۷۲	۰/۰۰۰
	تیمار	۱۰۱۳/۴۸۶	۰/۰۰۰
	فصل× تیمار	۶۶/۸۷۷	۰/۰۰۰
نیتروژن (٪)	فصل	۲۴۷/۳۹۵	۰/۰۰۰
	تیمار	۴۰۷/۰۱۷	۰/۰۰۰
	فصل× تیمار	۴۵/۰۴۶	۰/۰۰۰
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فصل	۱۱۲/۲۵۹	۰/۰۰۰
	تیمار	۱۰۳/۳۰۸	۰/۰۰۰
	فصل× تیمار	۷/۸۲۹	۰/۰۰۰
کربن آلی (٪)	فصل	۹۳۸۰۶/۶	۰/۰۰۰
	تیمار	۴/۸۰۷	۰/۰۰۳
	فصل× تیمار	۳/۷۲۴	۰/۰۰۰

جدول ۴- غلظت عناصر غذایی خاک (میانگین± اشتباه معیار) در تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن در توده دست‌کاشت کاج رادیاتا
Table 4. The soil nutrients concentrations (± ED) on different nitrogen deposition treatments (Control, Low, Medium and High) in Pinus radiata stand

		سطوح اضافه کردن نیتروژن				آماره F	Sig
	فصل	شاهد	کم	متوسط	زیاد		
نیتروژن (٪)	پاییز	۰/۲۸±۰/۰۲^{b}	۰/۳±۰/۰۲^{ab}	۰/۳۳±۰/۰۲^{bc}	۰/۳۵±۰/۰۲^{a}	۳۳/۱۴	۰/۰۰۰
	زمستان	۰/۳۰±۰/۰۳^{b}	۰/۳۵±۰/۰۳^{b}	۰/۳۶±۰/۰۱^{ab}	۰/۳۷±۰/۰۲^{a}	۲۸/۵۴	۰/۰۰۰
	بهار	۰/۳±۰/۰۲^{b}	۰/۳۷±۰/۰۳^{ab}	۰/۴۱±۰/۰۲^{ab}	۰/۴۶±۰/۰۳^{a}	۱۱۸/۲۹	۰/۰۰۰
	تابستان	۰/۳۰±۰/۰۳^{d}	۰/۳۸±۰/۰۴^{c}	۰/۴۴±۰/۰۳^{b}	۰/۵۵±۰/۰۲^{a}	۳۳۴/۶۹	۰/۰۰۰
pH	پاییز	۶/۸۵±۰/۰۲^{a}	۶/۵۵±۰/۰۴^{b}	۶/۵۴±۰/۰۳^{b}	۶/۴±۰/۰۲^{b}	۲۵/۹۲	۰/۰۰۰
	زمستان	۶/۹۸±۰/۱^{a}	۶/۹۵±۰/۲^{a}	۶/۴۵±۰/۲^{b}	۶/۱±۰/۲^{c}	۲۵/۴۲	۰/۰۰۰
	بهار	۶/۴±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{ab}	۶/۱±۰/۰۶^{ab}	۶/۰±۰/۰۵^{b}	۳۳/۹۲	۰/۰۰۰
	تابستان	۶/۸±۰/۳^{a}	۶/۷±۰/۲^{ab}	۶/۵±۰/۲^{ab}	۶/۰±۰/۱۱^{b}	۳۹/۸۲	۰/۰۰۰
EC	پاییز	۰/۳۵±۰/۰۷^{b}	۰/۳۶±۰/۰۱^{ab}	۰/۳۸±۰/۰۱^{ab}	۰/۳۹±۰/۰۲^{a}	۵/۲۶	۰/۰۰۵
	زمستان	۰/۵۲±۰/۰۱^{b}	۰/۵۳±۰/۰۱^{b}	۰/۵۶±۰/۰۲^{ab}	۰/۵۸±۰/۰۲^{a}	۲/۵۲	۰/۰۷۵
	بهار	۰/۵۰±۰/۰۱^{b}	۰/۶۳±۰/۰۱^{ab}	۰/۶۶±۰/۰۲^{ab}	۰/۶۹±۰/۰۲^{a}	۱۱/۸۶	۰/۰۰۰
	تابستان	۰/۶۰±۰/۰۱^{b}	۰/۷۶±۰/۰۱^{ab}	۰/۷۸±۰/۰۲^{ab}	۰/۸۳±۰/۰۲^{a}	۲۴/۹۰	۰/۰۰۰
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پاییز	۱۳/۴±۰/۱^{a}	۱۲/۶±۰/۲^{b}	۱۱/۴±۰/۲^{bc}	۱۰/۷±۰/۱^{c}	۶۲/۱۳	۰/۰۰۰
	زمستان	۱۰±۰/۶^{a}	۹/۱±۰/۲^{b}	۸/۲±۰/۲^{c}	۷/۳±۰/۱^{d}	۱۵۶/۷۷	۰/۰۰۰
	بهار	۱۳/۳±۰/۳^{a}	۱۱/۸±۰/۴^{a}	۷/۷±۰/۶^{b}	۷/۲±۰/۷^{b}	۶۸۴/۹۲	۰/۰۰۰
	تابستان	۱۲±۱/۶^{a}	۱۱±۰/۵^{b}	۷/۲±۰/۶^{c}	۶/۶±۰/۷^{c}	۳۸۲/۰۳	۰/۰۰۰
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پاییز	۴۷۰±۵/۰۴^{a}	۴۳۴±۱/۵^{ab}	۴۲۴±۷^{ab}	۳۲۲±۲^{b}	۴۶/۱۴	۰/۰۰۰
	زمستان	۳۳۵±۳/۷^{a}	۳۴۰±۱/۵^{ab}	۳۲۵±۳^{ab}	۲۸۳±۴^{b}	۳۷/۶۹	۰/۰۰۰
	بهار	۳۹۰±۲/۱^{a}	۳۶۵±۳/۵^{ab}	۳۲۱±۳^{ab}	۳۱۳±۳^{b}	۱۸/۵۸	۰/۰۰۰
	تابستان	۳۶۸±۲/۷^{a}	۳۶۰±۲/۵^{ab}	۲۸۷±۳^{ab}	۲۶۶±۳^{b}	۲۶/۹۹	۰/۰۰۰
کربن آلی (٪)	پاییز	۶/۰۸±۱/۲۰^{a}	۵/۷۷±۱/۱^{a}	۴/۷۴±۱/۱۵^{b}	۵/۸۸±۱/۴^{a}	۴/۴۳	۰/۰۱۰
	زمستان	۵/۸±۱/۲۰^{a}	۵/۳±۱/۱^{bc}	۵/۰۴±۱/۱۵^{c}	۵/۴۸±۱/۴^{ab}	۵/۹۳	۰/۰۰۲
	بهار	۵±۰/۲^{a}	۶/۵±۰/۵^{a}	۶/۶±۰/۴^{a}	۶/۸±۰/۵^{a}	۱/۹۲	۰/۳۲۹
	تابستان	۴/۳±۰/۶^{c}	۴/۵±۰/۳^{bc}	۴/۷±۰/۴^{ab}	۴/۹±۰/۸^{a}	۴/۵۶	۰/۰۰۹

در این مطالعه همزمان با شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن، ورودی عناصر موجود در تاج بارش و لاشه‌ریزی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت تا چرخه ورود عناصر به‌طور کامل بررسی گردد. نتایج حاصل از تجزیه مربوط به عناصر موجود در تاج بارش در توده کاج رادیاتا نشان می‌دهد که بیشترین تاج‌بارش مربوط به زمستان (بهمن‌ماه) و کمترین میزان تاج‌بارش با

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

اختلاف معنی‌داری مربوط به تابستان (تیر و شهریورماه) می‌باشد. در ارتباط با میزان pH باران، میزان pH در تابستان و بهار به‌طور معنی‌داری از پاییز و زمستان بیشتر بوده است که نشان‌دهنده ظرفیت گونه‌های درختی به‌ویژه در فصل رشد در کم‌کردن اسیدیته باران می‌باشد که این مسئله با نتایج (۱۱،۳۱) همخوانی دارد. به‌لحاظ میزان EC باران میزان آن در پاییز و زمستان به‌طور معنی‌داری از بهار و تابستان بیشتر بوده است. در رابطه با سایر عناصر موجود در تاج‌بارش نتایج نشان داد که میزان عناصر موجود در تاج‌بارش مانند نیترات، آمونیوم، پتاسیم و فسفات در فصل رشد (در بهار و تابستان) نسبت به سایر فصول بیشتر بوده است که نشان از ته‌نشست خشک عناصر به‌وسیله تاج بارش و تبادل آنها با سطوح برگ در فصل رشد می‌باشد که با نتایج کریستین و همکاران (۲۲) همخوانی داشته است.

مقایسه میزان تاج‌بارش در فصول مختلف نشان داد که تاج بارش در زمستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصول دیگر است و تاج‌بارش در تابستان بسیار اندک بوده است؛ و اگرچه غلظت عناصر غالباً در بهار و تابستان بیشتر از پاییز و زمستان بوده است ولی به‌دلیل میزان تاج‌بارش بیشتر در زمستان میزان ته‌نشست عناصری که از طریق تاج‌بارش وارد اکوسیستم می‌شوند بیشتر می‌باشد. به‌دلیل اینکه هدف اصلی از این مطالعه بررسی اثرات نیتروژن اضافی در بوم‌سازگان جنگل می‌باشد، برآورد میزان نیتروژن ورودی که از طریق تاج‌بارش وارد عرصه می‌شود از اهمیت زیادی برخوردار است. فرم‌های نیتروژن که در این مطالعه ارزیابی شد، NO_3^-، NH_4^+ بوده است که ورودی آن از طریق تاج‌بارش در این مطالعه به‌ترتیب ۲۲ و ۱۴ کیلوگرم در هکتار و در سال بود، که برطبق مطالعه بوبینک و هتلینگ (۷) میزان نیتروژن ورودی در جنگل‌های معتدله در حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار و در سال می‌باشد، که از این حیث با این مطالعه همخوانی دارد. البته به‌دلیل اینکه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش به‌صورت جنگل‌کاری بوده و در منطقه پایین‌دست و فاقد شیب بوده است و وجود زمین‌های کشاورزی (با مصرف کودهای نیتراته)، وجود دام‌سرها و نزدیکی به منطقه شهری (آلودگی ناشی از سوخت-های فسیلی) همگی موجب افزایش میزان ورودی نیتروژن در پژوهش حاضر بوده است؛ و واضح است که ورودی نیتروژن در جنگل‌های بکر شمال کشور از این میزان کمتر می‌باشد که می‌توان به مطالعه صالحی و همکاران (۳۱) اشاره نمود که ورودی نیتروژن را در توده آمیخته راش ۱۲ کیلوگرم در هکتار در سال برآورد نمود.

به‌لحاظ ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ریزی نیز میزان ورودی کلیه عناصر موجود در لاشبرگ در فصل بهار و تابستان بیشتر از زمستان و پاییز بوده است که این امر نیز به‌دلیل رویش درختان در این فصول بدیهی به نظر می‌رسد.

در این پژوهش تأثیر ته‌نشست نیتروژن برروی ورودی لاشبرگ نیز مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج نشان داد که ته‌نشست نیتروژن تأثیری برروی میزان ورودی لاشبرگ و ترکیب شیمیایی آن ندارد. این نتایج با مطالعه (۳۶) همخوانی دارد. محتمل‌ترین دلیل برای این مسئله کوتاه‌بودن طول دوره آزمایش شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن در این مطالعه می‌باشد. در این ارتباط نتایج مطالعه وانگ و همکاران (۳۵) با طول دوره طولانی‌تر نشان داد که ته‌نشست نیتروژن می‌تواند موجب افزایش ترکیب شیمیایی لاشبرگ شود.

هدف از این مطالعه بررسی نیتروژن ورودی و تأثیر شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن برروی خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد، نتایج حاصل از بررسی ترکیب شیمیایی خاک نشان داد که افزایش نیتروژن ورودی موجب افزایش نیتروژن کل و کاهش میزان pH و افزایش اسیدیته خاک می‌شود. بیشترین میزان pH در تیمار کنترل در فصل زمستان و پاییز (فصل خواب) در مقایسه با فصل تابستان و بهار (فصل رشد) به‌دست آمد. دلیل این مسئله را می‌توان این‌طور بیان کرد که افزایش pH در خاک در زمستان و پاییز به‌دلیل افزایش فعالیت بیولوژیکی غالب در طول فصل رشد است. pH خاک با افزایش افزودن N به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. نتایج مشابهی در بسیاری از مناطق اروپا، آمریکای شمالی و چین به‌دست آمد (۲۶،۸،۲۷). در این رابطه آمونیوم و نیتراتی که در فرآیند شبیه-سازی به خاک اضافه می‌شوند نقش مهمی ایفا می‌کنند. NH_4^+ به‌عنوان یک اسید باعث می‌شود که کاتیون‌های پایه از سطح خاک جابجا شده و سپس شسته شوند، بنابراین ظرفیت بافری خاک را کاهش می‌دهد (۲۸). همچنین، هنگامی که آمونیوم توسط گیاهان جذب می‌شود، یون H^+ در محلول خاک آزاد می‌شود و باعث اسیدی‌شدن خاک می‌شود (۳۲). درحالی که آنیون‌های No_3^- منجربه از بین رفتن کاتیون-های پایه با شستشوی آنها برای حفظ تعادل بار خاک می‌شوند (۱۶). مطالعه زانگ و همکاران (۳۸) نشان داد که کاهش pH خاک که در اثر افزایش ته‌نشست نیتروژن اتفاق می‌افتد نه‌تنها موجب کاهش کاتیون‌های قلیایی خاک می‌شود بلکه جمعیت باکتری‌ها را نیز در خاک کاهش می‌دهد، و اینکه اسیدی شدن خاک که در طول سال‌های متمادی در اثر افزایش نیتروژن اضافی حاصل از فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود اثرات جبران ناپذیری را برای اکوسیستم خواهد داشت.

علاوه‌براین افزایش نیتروژن ورودی میزان K^+ را در خاک کاهش می‌دهد، که این نتایج با نتایج مطالعه (۱۹) همخوانی دارد. دلیل این امر نیز به‌دلیل افزایش میزان $No3^-$ است که در فرآیند شبیه‌سازی نیتروژن به خاک اضافه می‌شود، در صورتی که نیترات به‌وسیله گیاه جذب نشود در خاک متحرک، و به-وسیله کاتیون‌هایی مانند K^+، P، Ca^+ و مینزیم جذب شده و موجب می‌شود کاتیون‌های قلیایی به‌همراه نیترات آبشویی شود، که این امر نه‌تنها موجب افزایش اسیدیته خاک شده بلکه موجب کاهش کاتیون های قلیایی خاک نیز می‌شود.

در این مطالعه غلظت فسفر نیز در تیمارهای ته‌نشست نیتروژن به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. با افزایش نیتروژن ورودی، جذب فسفر توسط درختان افزایش می‌یابد و این امر می‌تواند دلیل کاهش فسفر در مواجه با ته‌نشست نیتروژن باشد، زیرا منبع فسفر قابل جذب نسبت به کل فسفر خاک بسیار اندک است، که باعث ایجاد تغییرات نسبی

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

سریع در میزان فسفر خاک می‌شود. به‌خصوص در خاک‌هایی که در دسترسی به فسفر محدود می‌باشد. نتایج مشابه توسط لو و همکاران، (۲۸) در توده بلوط (*Quercus acutissima*) در چین یافت شد، جایی که آنها نشان دادند که افزایش سطح نیتروژن موجب کاهش فسفر خاک در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود. علاوه‌براین کاهش تجزیه لاشبرگ در نتیجه شبیه‌سازی نیتروژن و آزاد سازی کمتر فسفر از لاشبرگ به خاک نیز می‌تواند فسفر خاک را کاهش دهد.

نتایج کلی از پژوهش حاضر نشان داد که ورودی نیتروژنی که از طریق تاج‌بارش وارد این توده می‌شود از میزان ورودی نیتروژن در جنگل‌های بالادست راش بیشتر بوده است که نشان‌دهنده این مسئله است که که صنعتی‌شدن و استفاده از کودهای نیتراته می‌تواند میزان نیتروژن ورودی یک بوم‌سازگان را تغییر دهد. بررسی ته‌نشست نیتروژن و آزمایش شبیه‌سازی در این مطالعه در یک سال انجام شد و به‌نظر می‌آید به‌منظور دست‌یابی به اطلاعات دقیق‌تر و نتایج بیشتر، این مطالعات به‌مدت طولانی‌تری ادامه یابد تا بتوان به اثرات هر چه بیشتر آلودگی‌های زیست‌محیطی پی برد. همچنین بیان این نکته نیز حائز اهمیت است که اگر آلودگی‌های زیست-محیطی با همین سرعت ادامه یابد اثرات مخربی برای پویایی اکوسیستم بویژه جنگل‌ها به‌همراه دارد و در پایان، با توجه به مطالب یاد شده و سرعت هر چه بیشتر فرآیندهای صنعتی‌شدن در کشور و به‌منظور دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر در زمینه سرشت گونه‌ها در برابر هر گونه تغییرات اقلیمی لزوم انجام مطالعات و کسب اطلاعات دقیق‌تر در رابطه با سایر گونه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد.

منابع

1. Aber, J., W. McDowell, K. Nadelhoffer, A. Magill, G. Berntson and M. Kamakea. 1998. Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. BioScience, 921-934.
2. Ahmadi, M.T., P. Attarod, M.R. Marvi Mohadjer, R. Rahmani and J. Fathi. 2009. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during the growing season. Turk. J. Agric. For, 33: 557-568. doi:10.3906/tar- 0902-3.
3. Anonymous. 2011. Booklet of Mahdasht and Afrarakht forest plan. Wood and paper in Mazandaran (Sari).
4. APHA. 1998. Cadmium reduction method. In: Franson, M.A.H (Ed), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington, DC, 556 pp.
5. Asman, W.A., M.A. Sutton and J.K. Schjørring. 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. New phytologist, 139: 27-48.
6. Bobbink, R. and J.P. Hettelingh. 2011. Review and revision of empirical crit- ical loads and dose-response relationships. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
7. Bobbink, R. and J.P. Hettelingh. 2010. Review and revision of empirical critical loads and doseresponse relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM, 23-25.
8. Bowman, W.D., C.C. Cleveland, L. Halada, J. Hreško and J.S. Baron. 2008. Negative impact of nitrogen deposition on soil buffering capacity. Nat. Geosci, 1: 767-770.
9. Cape, J., Y. Tang, N. Van Dijk and L. Love. 2004. Sutton M, Palmer S. Concentrations of ammonia and nitrogen dioxide at roadside verges, and their contribution to nitrogen deposition. Environmental Pollution, 132: 469-478.
10. Chen, W., X. Zheng, Q. Chen, B. Wolf, K. Butterbach-Bahl, N. Brüggemann and S. Lin. 2013. Effects of increasing precipitation and nitrogen deposition on CH 4 and N 2 O fluxes and ecosystem respiration in a degraded steppe in Inner Mongolia, China. Geoderma, 192: 335-340.
11. Devlaeminck, R., A. De Schrijver and M. Hermy. 2005. Variation in throughfall deposition across a deciduous beech (*Fagus sylvatica* L.) forest edge in Flanders. Sci Total Environ, 337: 241-252. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.07.005.
12. Dezzeo, N. and N. Chacón. 2006. Nutrient fluxes in incident rainfall, throughfall, and stemflow in adjacent primary and secondary forests of the Gran Sabana, southern Venezuela. Forest Ecology and Management, 234(1-3): 218-226.
13. Dobermann, A. and K.G. Cassman. 2005. Cereal area and nitrogen use efficiency are drivers of future nitrogen fertilizer consumption. Science in China Series C: Life Sciences, 48(2): 745-758.
14. Erisman, J.W., J.N. Galloway, S. Seitzinger, A. Bleeker, N.B. Dise and A.R. Petrescu. 2013. Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 368: 20130116.
15. Frey, S.D., M. Knorr, J. Parrent and R.T. Simpson. 2004. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. Forest Ecology and Management, 196(1): 159-171.
16. Gundersen, P., I.K. Schmidt and K. Raulund-Rasmussen. 2006. Leaching of nitrate from temperate forests—effects of air pollution and forest management Environmental Reviews, 14 1-57.
17. Galloway, J.N., F.J. Dentener, D.G. Capone, E.W. Boyer, R.W. Howarth and S.P. Seitzinger. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. Biogeochemistry, 70: 153-226.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

18. Gilliam, F.S. 2006. Response of the herbaceous layer of forest ecosystems to excess nitrogen deposition. Journal of Ecology, 94(6): 1176-1191.
19. Gunderson, P., B. Berg, W.S. Currie, N.B. Dise, B.A. Emmett, V. Gauci, M. Holmberg, O.J. Kjonaas, J. Mol-Dijkstra, C. van der Salm and I.K. Schmidt. 2006. Carbon-Nitrogen Interactions in Forest Ecosystems-Final Report.
20. Jafarihaghighi, M. 2003. Sampling and analysis of important physical and chemical soil analysis. Neda Zoha Press. Tehran, Iran.
21. Kim, T.W., K. Lee, R. Duce and P. Liss. 2014. Impact of atmospheric nitrogen deposition on phytoplankton productivity in the South China Sea. Geophysical Research Letters, 41(9): 3156-3162.
22. Kristensen, H.L., P. Gundersen, I. Callesen and G.J. Reinds. 2004. Throughfall nitrogen deposition has different impacts on soil solution nitrate concentration in European coniferous and deciduous forests. Ecosyst Ecosyst, 7: 180-192. doi:10.1007/s10021-003-0216-y.
23. Kuperman, R.G. and C.A. Edwards. 1997. Effects of acidic deposition on soil invertebrates and microorganisms. In Reviews of environmental contamination and toxicology, Springer New York, pp. 35-138.
24. Li, H., Z. Xu, S. Yang, X. Li, E.M. Top, R.Wang, Y. Zhang, J. Cai, F. Yao, X. Han and Y. Jiang. 2016. Responses of Soil Bacterial Communities to Nitrogen Deposition and Precipitation Increment Are Closely Linked with Aboveground Community Variation. Microbial ecology, 71(4): 974-989.
25. Liu, L. and T.L. Greaver. 2010. A global perspective on belowground carbon dynamics under nitrogen enrichment. Ecology Letters, 13(7): 819-828.
26. Luo, Y., W. Guo, Y. Yuan, J. Liu, N. Du and R. Wang, 2014. Increased nitrogen deposition alleviated the competitive effects of the introduced invasive plant Robinia pseudoacacia on the native tree Quercus acutissima. Plant and soil, 385(1-2): 63-75.
27. Lu, X., Q. Mao, F.S. Gilliam, Y. Luo and J. Mo. 2014. Nitrogen deposition contributes to soil acidification in tropical ecosystems. Global change biology, 20(12): 3790-3801.
28. Matschonat G. and E. Matzner. 1996. Soil chemical properties affecting NH_4^+ sorption in forest soils Z. flanzenernahrung Bodenkunde, 159: 505-11.
29. Mo, J., W.E.I. Zhang, W. Zhu, P.E.R. Gundersen, Y. Fang, D. Li and H.U.I. Wang. 2008. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. Global Change Biology, 14(2): 403-412.
30. Penuelas, J., B. Poulter. J. Sardans, P. Ciais, M. van der Velde, L. Bopp, O. Boucher, Y. Godderis, P. Hinsinger, J. Llusia and E. Nardin. 2013. Human-induced nitrogen–phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. Nature Communications, 4.
31. Salehi, M., G.Z. Amiri, P. Attarod, A. Salehi, I. Brunner. P. Schleppi and A. Thimonier. 2016. Seasonal variations of throughfall chemistry in pure and mixed stands of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Hyrcanian forests (Iran). Annals of forest science, 73(2): 371-380.
32. Smith, S.E. and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis (San Diego, CA: Academic).
33. Sun, T., L. Dong, Z. Wang, X. Lü and Z. Mao. 2016. Effects of long-term nitrogen deposition on fine root decomposition and its extracellular enzyme activities in temperate forests. Soil Biology and Biochemistry, 93: 50-59.
34. Tafazoli, M., H. jalilvand, M. hojati and M. Lameresdorf. 2017. The effects of simulated nitrogen deposition on soil chemical properties in maple plantation stand. Environmental Sciences, 15(2): 39-54 (In Persian).
35. Wang, J.J., R.D. Bowden, K. Lajtha, S.R. Washko, S.J. Wurzbacher and M.J. Simpson. 2019. Long-term nitrogen addition suppresses microbial degradation, enhances soil carbon storage, and alters the molecular composition of soil organic matter. Biogeochemistry, 142(2): 299-313.
36. Zhang, H., Y. Liu, Z. Zhou and Y. Zhang. 2019. Inorganic Nitrogen Addition Affects Soil Respiration and Belowground Organic Carbon Fraction for a Pinus tabuliformis Forest. Forests, 10(5): 369.
37. Zhang, X. and X. Han. 2012. Nitrogen deposition alters soil chemical properties and bacterial communities in the Inner Mongolia grassland. Journal of Environmental Sciences, 24(8): 1483-1491.
38. Zhang, X., M. Xu, J. Liu, N. Sun, B. Wang and L. Wu. 2016. Greenhouse gas emissions and stocks of soil carbon and nitrogen from a 20-year fertilised wheat-maize intercropping system: A model approach. Journal of Environmental Management, 167: 105-114.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]

Simulation of Nitrogen Deposition (Nitrogen Addition Experiments) Impact on Soil Properties in Pine Radiata Stands

Azam Sadat Nouraei[1], Hamid Jalilvand[2], Seyyed Mohammad Hojjati[3] and Seyyed Jalil Alavi[4]

1- Ph.D, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran
2- Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran
(Corresponding author: h.jalilvand@sanru.ac.ir)
3- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran
4- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I.R.
Received: May 26, 2019 Accepted: November 23, 2019

Abstract

Human demand for food and energy has led to major changes in the level of active nitrogen (N) released to the atmosphere. N addition experiments are a reliable way for investigating the effect of extra N deposition on target ecosystems. The present study was carried out to investigate in the effects of an artificial N deposition on the soil biochemical properties of a 20-year-old oak (*Pinus radiata*) plantation in Hyrcanian forests in the north of Iran. Twelve plots of (20 m × 10 m) were established in the study area. Four N treatments were considered: zero (control), 50 (low), 100 (medium) and 150 (high) kg N ha^{-1} $year^{-1}$. N in the form of NH_4NO_3 solution was manually sprayed onto the plots monthly for one year. Analysis of variance showed that soil characteristics at nitrogen treatment and different seasons and interaction of season and treatment had significant differences (P_{value} <0.01). In this regard and at the end of the simulation period, the lowest soil pH was observed in high treatment (6±0.3) and highest in control treatment (6.8±0.3). The highest amount of total nitrogen was observed at high N treatment (0.55±0.02). But in relation to K and P concentrations, the control treatment (368±2.7) (12±1.6) had highest and high N treatment (266±3) (6.6±0.7) had lowest concentration of P and K, respectively. In this study, due to the increase in nitrate content obtained by adding ammonium nitrate in the nitrogen simulation process, nitrate becomes saturated in the soil and mobile in the soil, and then leaching with base cations and decreasing soil pH.

Keywords: Ammonium nitrate, *Pinus radiate*, Pollution

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.9.3]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.75]