



## اثر تنشست نیتروژن شبیه‌سازی شده بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در توده دست‌کاشت افرا پلت

مهرسده تفضلی<sup>۱</sup>، حمید جلیلودن<sup>۱\*</sup>، سیدمحمد حجتی<sup>۱</sup> و نوربرت لمرسدورف<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

<sup>۲</sup> گروه خاک‌شناسی مناطق معتدله، دانشگاه جورج آگوست گوتینگن، گوتینگن، آلمان

تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۷

**تفضلی، م.، ح. جلیلودن، س.م. حجتی و ن. لمرسدورف. ۱۳۹۶. اثر تنشست نیتروژن شبیه‌سازی شده بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در توده دست‌کاشت افرا پلت. فصلنامه علوم محیطی. ۳۹-۵۴: (۲)۱۵.**

**سابقه و هدف:** با توجه به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی، مقدار ورود ترکیبات نیتروژن‌دار به جو به ویژه در مناطق صنعتی افزایش یافته است. از جمله پیامدهای افزایش ترکیبات نیتروژن‌دار در جو، ایجاد پدیده تنشست نیتروژن است. تنشست نیتروژن اشاره به فرآیندی دارد که طی آن ترکیبات نیتروژنی موجود در هوا بر سطح جامد قرار می‌گیرند. با توجه به کمبود اطلاعات در ارتباط با اثرات تنشست نیتروژن بر ویژگی‌های خاک جنگل، هدف از این پژوهش بررسی اثرات تنشست نیتروژن شبیه‌سازی شده بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در توده دست‌کاشت افراپلت واقع در جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری بود.

**مواد و روش‌ها:** در توده پژوهشی تعداد ۱۲ پلات ۱۰×۲۰ متر پیاده شد. تنشست نیتروژن در چهار سطح شامل، صفر (شاهد)، ۵۰ (کم)، ۱۰۰ (متوسط) و ۱۵۰ (زیاد) کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال در نظر گرفته شد. نیتروژن به صورت محلول آمونیم-نترات در هر پلات به صورت دستی و ماهانه در طول یکسال اسپری شد. سه نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر از هر پلات در هر فصل طی یکسال با روش استوانه فلزی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ویژگی‌های فیزیکی درصد رطوبت به روش وزنی و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH خاک به روش پتانسیومتری، EC به روش هدایت سنجی (نسبت خاک به آب برابر با ۱ به ۲/۵ بود) اندازه‌گیری شدند. کربن آلی به روش والکی و بلاک، نیتروژن به روش کج‌لدال، فسفر قابل جذب با روش اولسن، پتاسیم با روش عصاره‌گیری با استات آمونیم اندازه‌گیری شدند.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که تنشست نیتروژن باعث کاهش معنی‌دار مقدار pH و EC خاک شد. در انتهای دوره مورد بررسی، مقدار نیتروژن در تیمارهای متوسط (۰/۴۷±۰/۱۰ درصد) و زیاد (۰/۵۹±۰/۱۳ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد (۰/۳۶±۰/۰۶ درصد) بود. مقدار فسفر در تیمار متوسط (۰/۳۹±۰/۱۵) و زیاد (۰/۴۳±۰/۱۴) به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد (۰/۲۴±۰/۰۵) بود. همچنین افزایش تنشست نیتروژن باعث کاهش معنی‌دار پتاسیم در خاک شد. در انتهای دوره مورد بررسی، مقدار آمونیم (کم: ۶/۰۴، متوسط: ۷/۲۳ و زیاد: ۸/۵۳) و نترات (کم: ۷/۲۱، متوسط: ۹/۹۵ و زیاد: ۲۰/۵۱) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد (آمونیم: ۴/۹۳ و نترات: ۵/۰۶) بود.

دلیل کاهش pH و EC می‌تواند ناشی از آبشویی کاتیون‌های قلیایی به دنبال بروز پدیده آبشویی نیترات و افزایش غلظت آمونیم در خاک باشد. دلیل افزایش میزان نیترات را می‌توان اضافه شدن آن و همچنین تولید نیترات در حضور آمونیم بیان کرد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تنشست نیتروژن اثرات مخربی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک داشت که باعث کاهش میزان pH و EC، پتاسیم، فسفر و همچنین افزایش نیتروژن کل، کربن آلی، آمونیم و نیترات در خاک شد.

**نتیجه‌گیری:** افزایش نیتروژن در مراحل اول می‌تواند تا حدی باعث افزایش رویش درختان شود ولی با گذشت زمان و اشباع نیتروژن در خاک و وقوع پدیده آبشویی نیترات و کاهش حاصلخیزی خاک، شرایط برای رشد و رویش گیاهان نامناسب خواهد شد. با توجه به کمبود اطلاعات در زمینه اثرات تنشست نیتروژن بر ویژگی‌های خاک، انجام مطالعات گسترده‌تر در ارتباط با اثرات آن روی ویژگی‌های زیستی خاک از جمله فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و همچنین تنفس خاک پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تنشست نیتروژن، آمونیم، نیترات، جنگل دارابکلا.

## مقدمه

که افزایش تنشست نیتروژن به تهدید سلامت بوم‌نظام‌های طبیعی و انسان‌ساخت منجر شده و نگرانی‌های جهانی درباره اثرهای منفی آن بر ساختار و کارکردهای حیاتی را سبب می‌شود (Magill et al., 2004).

افزایش تنشست نیتروژن اثرات مضر بر بوم‌نظام‌ها از جمله کاهش تنوع زیستی، اسیدی شدن خاک و از دست رفتن کاتیون‌های قلیایی دارد. جنگل‌ها مهم‌ترین بوم‌نظام روی کره زمین بوده و ۳۰ درصد سطح خشکی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. بوم‌نظام‌های جنگلی به دلیل زبری سطح، شاخص سطح برگ و صفات فیزیولوژیکی برگ، بیشتر از مناطق بدون پوشش گیاهی در معرض تنشست نیتروژن قرار دارند (Erisman and Draaijers, 2003). ترکیبات نیتروژن تنشست شده روی سطوح تاج درختان هنگام وقوع بارندگی طی فرآیند تاج‌بارش و آبشویی تاج درختان از روی سطح تاج شسته شده و به شکل تنشست مرطوب به سطح خاک جنگل اضافه می‌شود (Bobbink et al., 2010). بوم‌نظام‌های جنگلی می‌توانند بخشی از نیتروژن تنشست شده در خاک را توسط مکانیسم‌های زنده و غیر زنده حفظ کنند، اما زمانی که نیتروژن ورودی از ظرفیت احتباس خاک بیشتر شود، هدررفت نیتروژن به صورت انتشار اکسید نیتروژن و یا آبشویی نیترات تشدید خواهد

با توجه به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی، مقدار ورود ترکیبات نیتروژن‌دار به جو به ویژه در مناطق صنعتی افزایش یافته است (2008 Gruber and Galloway). ترکیبات نیتروژنی موجود در جو می‌توانند از راه واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی، باعث تشکیل ذرات معلق شوند و جابجایی صدها و گاهی هزاران تن نیتروژن از راه جریان‌ات جوی شوند (Liu et al., 2010). از جمله پیامدهای افزایش ترکیبات نیتروژن‌دار در جو، پدیده تنشست نیتروژن (Nitrogen Deposition) است که امروزه مقدار آن حدود دو تا ۵ برابر افزایش یافته است (Galloway et al., 2004). تنشست نیتروژن اشاره به فرآیندی دارد که طی آن ترکیبات نیتروژنی موجود در هوا (نیتروژن معدنی از جمله اکسیدهای نیتروژن، آمونیاک، آمونیم و نیترات) به دو شکل تنشست مرطوب و خشک بر سطوح جامد قرار می‌گیرند (Cornell et al., 2003). برآورد شده که مقدار جهانی نیتروژن ناشی از فعالیت‌های انسانی در سال ۱۸۶۰ تا اوایل دهه ۱۹۹۰، از ۳۱/۶ به ۱۰۳ تراگرم بر هکتار در سال افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که به دلیل افزایش تقاضای انسان برای مواد غذایی و انرژی تا سال ۲۰۵۰ به ۱۹۵ تراگرم بر هکتار در سال برسد (2004 Galloway et al.). پژوهش‌ها در آمریکا و اروپا نشان داده

(Marvi Mohajer, 2007).

بر اساس اطلاعات موجود تاکنون درباره اثر تنه‌نشست نیتروژن بر ویژگی‌های خاک در جنگل‌های شمال کشور به‌عنوان یکی از منابع ارزشمند کشور، پژوهشی صورت نگرفته است؛ بنابراین این امر نشان‌دهنده لزوم پژوهش در راستای تعیین آستانه تحمل بوم‌نظام جنگل‌های شمال کشور نسبت به غلظت‌های مختلف تنه‌نشست نیتروژن با استفاده از روش شبیه‌سازی تنه‌نشست نیتروژن است. پژوهش در این راستا می‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت درست و بهینه جنگل‌های دست‌کاشت و طبیعی در اطراف مناطق صنعتی باشد. از جمله گونه‌های بومی که به منظور جنگل‌کاری در حاشیه مناطق صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، گونه افرا پلت است. پلت از فراوان‌ترین و بزرگ‌ترین افراهای ایران است که در جنگل‌های جلگه‌ای کشور از آستارا در غرب تا حوزه گلستان در شرق گسترش دارد. این گونه نورپسند و طالب خاک‌های عمیق و غنی است و یکی از مهم‌ترین گونه‌های درختی صنعتی جنگل‌های شمال ایران است و نقش مهمی در تولید چوب ایفا می‌کند (Espahbodi *et al.*, 2007). رشد سریع، تکثیر آسان و بذردهی مطلوب سالانه این درخت و از همه مهم‌تر نورپسند بودن این گونه باعث می‌شود که بتوان از آن به‌عنوان پیش‌آهنگ در جنگل‌کاری استفاده کرد و همین امر منجر به این شده که بخش مهمی از جنگل‌کاری‌های سالانه سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به این گونه اختصاص یابد (Sabeti, 2008). هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثر تنه‌نشست نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در جنگل دست‌کاشت افرا پلت واقع در جنگل آموزشی پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری- دارابکلا بود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد بررسی

برای انجام این پژوهش، توده دست‌کاشت افراپلت واقع در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشکده منابع طبیعی

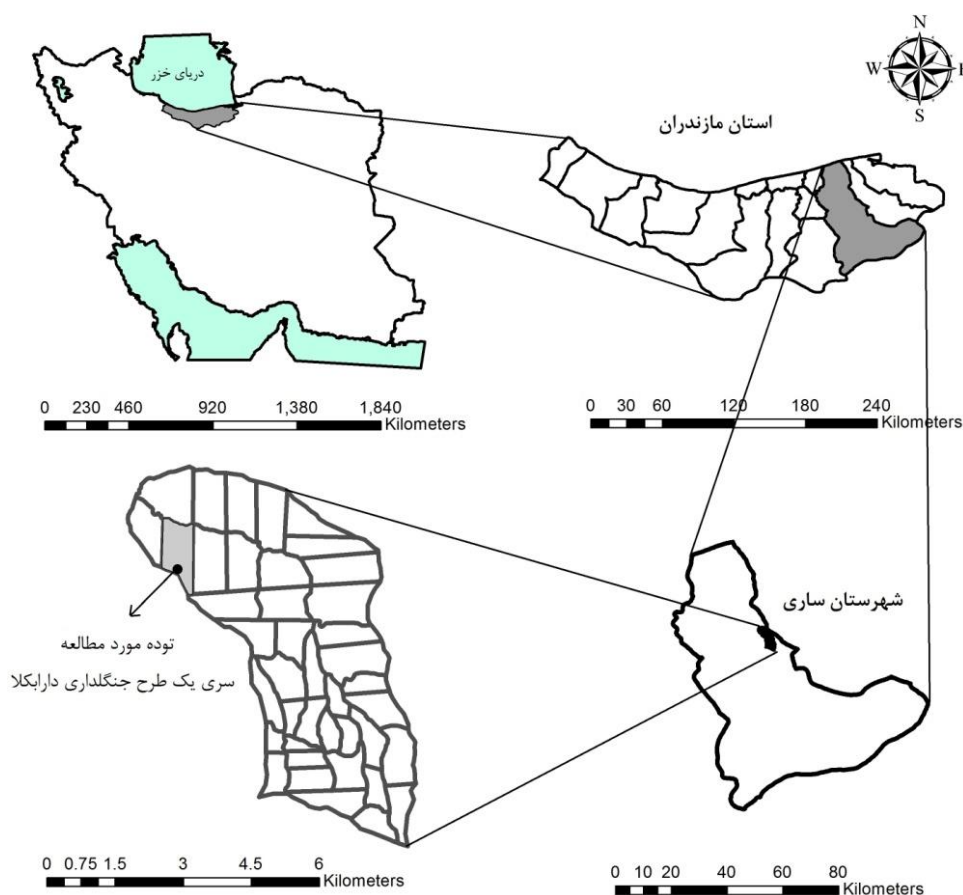
شد (Zhu *et al.*, 2015; Du, 2017). ورود مقدار زیاد نیتروژن به شکل معدنی بر ویژگی‌های خاک جنگلی اثرگذار است که می‌توان به اثر بر چرخه عناصر غذایی، اسیدی شدن خاک و آب‌شویی کاتیون‌های قلیایی و در نهایت به سمیت آلومینیم اشاره کرد (Aber *et al.*, 1989; Vitousek *et al.*, 1997; Minocha *et al.*, 2000; Högborg *et al.*, 2006). تغییر در محتوای کاتیون‌های قلیایی بر حاصلخیزی خاک، تجزیه لاشیرگ، ترکیب پوشش گیاهی و در نهایت تولید جنگل اثرگذار است (Nordin *et al.*, 2005). پژوهش‌های گسترده‌ای درباره اثر تنه‌نشست نیتروژن در جنگل‌های معتدله وجود دارد ولی پژوهش‌های محدودی درباره اثر اضافه شدن نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک صورت گرفته است (Galloway *et al.*, 2003; Lu *et al.*, 2009).

متأسفانه درباره مقدار تولید گازهای نیتروژن‌دار و اثر ناشی از فعالیت‌های صنعتی و تغییرات کاربری اراضی در ایران در بوم‌نظام‌های مختلف منبع موثقی موجود نمی‌باشد، اما واضح است که کشورهای در حال توسعه به‌منظور تأمین نیازهای روزافزون محصولات مختلف و همچنین با استفاده از سوخت‌های فسیلی، باعث ورود مداوم مقادیر قابل توجهی از ترکیبات نیتروژنی به جو خواهند شد. بر اساس پژوهشی که به منظور برآورد تنه‌نشست نیتروژن در گستره جهانی توسط

(Stevens *et al.*, 2015)، (Salahi *et al.*, 2014)، (Potter *et al.*, 2004) و (Galloway *et al.*, 2004) صورت گرفته است مقدار تنه‌نشست نیتروژن در محدوده شمال کشور بین ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال تخمین زده شده است. توسعه صنایع در شمال کشور می‌تواند باعث افزایش ترکیبات حاوی نیتروژن به جو شود که تنه‌نشست آن‌ها می‌تواند اثرات زیان‌باری بر بوم‌نظام جنگلی شمال کشور داشته باشد. با توجه به اینکه سطح جنگل‌های شمال کشور بسیار محدود است، حفظ، احیا و توسعه سطح آن‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر تخریب آن‌ها لازم و ضروری است

میلی‌متر) و  $40.2$  میلی‌متر (اشتباه معیار  $\pm 12/0$  میلی‌متر) است. متوسط دمای سالانه و متوسط دما در فصل رویش به ترتیب،  $17/8$  درجه سانتی‌گراد (اشتباه معیار  $\pm 2/0$  درجه سانتی‌گراد) و  $23$  درجه سانتی‌گراد (خطای معیار  $\pm 4/6$  درجه سانتی‌گراد) است (Anonymous, 2013). بر اساس مندرجات کتابچه طرح جنگل‌داری دارابکلا، خاک‌شناسی و تیپ خاک منطقه دارابکلا به علت وجود سنگ‌های مادری آهکی و مارنی یا سنگ آهکی به دو واحد اراضی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت تقسیم می‌شود. عمق خاک غالب این منطقه نسبتاً عمیق تا عمیق همراه با سنگ‌های ریز و درشت مادری است. بافت خاک غالباً رسی، کمی سنگین تا سنگین، نفوذپذیری آب در خاک متوسط تا ضعیف و ریشه دوانی در اغلب نقاط متوسط تا ضعیف است (Anonymous, 1996).

ساری، دارابکلا انتخاب شد (شکل ۱). مساحت توده  $1/1$  هکتار و متوسط قطر و ارتفاع درختان به ترتیب  $20 \pm 0/5$  سانتی‌متر و  $19 \pm 1$  متر بود. منطقه مورد بررسی واقع در جنوب شرقی شهرستان ساری در استان مازندران و در طول جغرافیایی  $52$  درجه و  $14$  دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی  $36$  درجه و  $28$  دقیقه شمالی است و ارتفاع از سطح دریا  $360$  متر است. نهال‌کاری با فاصله کاشت  $2 \times 2$  متر از یکدیگر انجام شده و عملیات پرورشی در طول مدت  $20$  سال گذشته به حفاظت از عرصه‌های جنگل‌کاری محدود شده است (Anonymous, 1996). بر اساس اطلاعات اقلیمی بلندمدت بدست آمده از ایستگاه هواشناسی ساری طی  $25$  سال ( $1365$  تا  $1390$ ) میانگین بارندگی سالانه و میزان بارش در فصل رویش (اردیبهشت تا آبان) به ترتیب  $741$  میلی‌متر (اشتباه معیار،  $\pm 7/3$



شکل ۱- موقعیت توده دست‌کاشت افرا پلت در جنگل آموزشی و پژوهشی دارابکلا (Anonymous, 1996)

Fig. 1- The location of maple plantation stand in educational and research forest of Darabkola

## روش انجام پژوهش

به روش وزنی، چگالی ظاهری به روش کلوخه (Jafarihaghighi, 2003) و بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1951) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل واکنش خاک (pH) به روش پتانسیومتری (Jafarihaghighi, 2003)، هدایت الکتریکی (EC) به روش هدایت سنجی (نسبت خاک به آب برابر با ۱ به ۲/۵ بود)، کربن آلی به روش والکی و بلاک (Nelson and Sommers, 1996)، نیتروژن به روش کج‌دال، فسفر قابل جذب با روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954) و پتاسیم با روش عصاره-گیری با استات آمونیم اندازه‌گیری شدند (Jafarihaghighi, 2003)

## تجزیه و تحلیل اطلاعات

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در هر تیمار انجام شد. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف (Kolmogorov - Smirnov test) و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) بررسی شد. برای مقایسه ویژگی‌های شیمیایی از آنالیز واریانس یک طرفه با نرم‌افزار SPSS v.16 استفاده شد. برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج این پژوهش نشان داد که بافت خاک در توده دست کاشت افرا پلت از نوع شنی-لومی بود. مقدار pH خاک ۷/۱۷ و EC خاک ۰/۸۹ دسی زیمنس بر متر بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ابتدای دوره مورد بررسی و قبل از اعمال تیمارهای نیتروژن در جدول ۱ گزارش شده است.

در توده پژوهشی ۱۲ پلات ۱۰×۲۰ متر پیاده و فاصله بین پلات‌ها حدود ۱۰ متر در نظر گرفته شد. با توجه به آمارهای بین‌المللی گزارش شده و پژوهش (Salahi *et al.*, ۲۰۱۴) که میزان ته‌نشست مرطوب را در جنگل‌های شمال کشور ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال گزارش کردند، چهار تیمار ته‌نشست نیتروژن در نظر گرفته شد که شامل شاهد (بدون اضافه شدن نیتروژن)، تیمار نیتروژن کم (۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال)، تیمار نیتروژن متوسط (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال) و تیمار نیتروژن زیاد (۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال) بود. با توجه به اینکه ترکیبات نیتروژن‌دار طی فرآیند تاج‌بارش، به شکل محلول و ته‌نشست مرطوب به سطح خاک جنگل اضافه می‌شوند، بنابراین در این پژوهش، نیتروژن به صورت محلول آمونیم-نترات در هر پلات طی یک سال به صورت دستی و ماهانه اسپری شد (Mo *et al.*, 2007; Zang *et al.*, 2008; Lu *et al.*, 2009).

### بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

برای بررسی ویژگی‌های خاک، در ابتدای دوره مورد بررسی و قبل از اعمال تیمار نیتروژن، یک نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر از هر پلات برای ویژگی‌های فیزیکی و سه نمونه از هر پلات برای ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از روش استوانه فلزی (قطر دهانه: ۸ سانتی‌متر، ارتفاع: ۱۰ سانتی‌متر) تهیه شد. همچنین، برای بررسی اثر ته‌نشست نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک بعد از اعمال تیمارها، از هر پلات تعداد ۳ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر با روش مذکور در هر فصل، طی یک سال تهیه شد (Xingren *et al.*, 2017). در آزمایشگاه ویژگی‌های فیزیکی درصد رطوبت

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمار نیتروژن در توده دست‌کاشت افرا پلت در جنگل دارابکلا

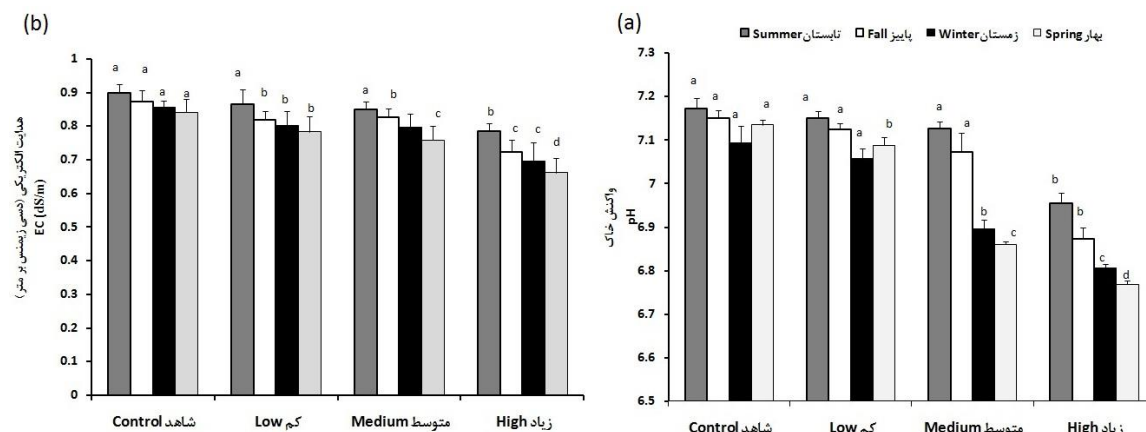
Table 1. Physical and chemical properties of soil before applying N treatments in maple plantation stand in Darabkola forest

مقدار Value	تعداد نمونه Number of Samples	ویژگی‌های خاک Soil Properties
12: 30، 58 (نوع خاک: شنی-لومی) (Soil type: sandy-loam)	12	بافت خاک (رس، سیلت، شن) Soil Texture (Sand: Silt: Clay %)
1.72	12	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )
26.71	12	رطوبت (درصد) Moisture (%)
7.17	36	واکنش خاک pH
0.89	36	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Ec (dS/m)
0.38	36	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)
34.86	36	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) Phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )
894.55	36	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Potassium (mg kg <sup>-1</sup> )
3.94	36	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)

اتمسفیری نیتروژن به میزان ۶/۶ تا ۸ کیلوگرم در هکتار در سال باعث ایجاد شرایط اسیدی و آزاد شدن آلومینیم در خاک این بوم‌نظام شده است (Minocha *et al.*, 2000). در پژوهشی دیگر ته‌نشست بلندمدت نیتروژن به مقدار ۶۸ کیلوگرم در هکتار در سال در جنگل‌های بوره‌آل باعث اسیدی شدن خاک و آزاد شدن آلومینیم در خاک شد (Högberg *et al.*, 2006). دلیل دیگر کاهش pH را می‌توان ناشی از افزایش آمونیم در خاک بیان کرد. از طرف دیگر آمونیم در خاک طی فرآیند نیتراتی شدن باعث افزایش مقدار یون هیدروژن در خاک خواهد شد که به دنبال آن خاک اسیدی می‌شود. نیتراتی که طی این فرآیند نیز تولید می‌شود، می‌تواند باعث افزایش میزان آب‌شویی کاتیون‌های قلیایی در خاک و کاهش pH شود (Högberg *et al.*, 2006; Lu *et al.*, 2009). کاهش مقدار pH خاک تحت تأثیر ته‌نشست نیتروژن در پژوهش (Kou *et al.*, 2017) نیز گزارش شده است.

## اثر ته‌نشست نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

با افزایش ته‌نشست نیتروژن در هر یک از فصول به طور جداگانه و همچنین با گذشت زمان طی یکسال pH و EC خاک کاهش یافت. مطابق شکل ۲، تیمار نیتروژن زیاد کمترین مقدار pH و EC خاک را در تمام فصول سال به همراه داشت. سایر پژوهش‌ها نشان دادند که افزایش نیتروژن طی فرآیند ته‌نشست می‌تواند باعث ایجاد شرایط اشباع نیتروژن شود که به دنبال آن پدیده آب‌شویی نیترات رخ خواهد داد و در نهایت باعث کاهش محتوای عناصر غذایی و کاهش pH در خاک خواهد شد. پدیده اشباع نیتروژن در خاک و کاهش pH و EC در مناطق مختلفی از اروپا و شمال آمریکا با استفاده از روش شبیه‌سازی مشاهده شده است (Minocha *et al.*, 2000; Högberg *et al.*, 2006). در جنگل هاروارد اضافه کردن نیتروژن به مقدار ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال به همراه ته‌نشست



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن بر pH (الف) و EC (ب) خاک در توده دست‌کاشت افرا پلت. حروف لاتین غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) در یک فصل بین تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن است (خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه معیار است)

Fig. 2- The effects of different nitrogen deposition treatments on pH (a) and EC (b) of the soil in maple plantation stand. Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) between different nitrogen deposition treatments within each season (bars indicate the standard error)

ویژه نیترات می‌تواند آب‌شویی کاتیون‌هایی قلیایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم را به همراه داشته باشد. کاهش کاتیون‌های قلیایی می‌تواند دلیل دیگری بر کاهش pH خاک باشد. پژوهش‌های متعددی کاهش عناصر قلیایی در خاک را با افزایش ته‌نشست نیتروژن گزارش کردند (Vitousek and Howarth, 1991; Minocha *et al.*, 2000; Asner *et al.*, 2001; Högberg *et al.*, 2006).

با افزایش میزان نیتروژن در خاک، میزان کربن در خاک افزایش یافت که مطابق با نتایج گزارش شده توسط (Wei *et al.*, 2012)، (Fang *et al.*, 2007) و (Berge 1997) and Matzner بود. برخی از منابع گزارش کردند که این افزایش در میزان کربن خاک تحت تأثیر ته‌نشست نیتروژن کوتاه‌مدت است (Fan and Hing, 2001; Wang *et al.*, 2005). دلیل افزایش کربن آلی خاک پس از یکسال می‌تواند ناشی از تجزیه لاشبرگ افرا پلت برای جبران در کمبود عناصر غذایی آب‌شویی شده در خاک منطقه باشد. افزایش تجزیه لاشبرگ تحت تأثیر ته‌نشست نیتروژن در پژوهش (Song *et al.*, 2017) و (Zhang *et al.*, 2017) نیز گزارش شده است. ولی در بلندمدت، افزایش نیتروژن به واسطه فرآیند ته‌نشست باعث کاهش کربن آلی خاک خواهد شد (Fang *et al.*, 2007).

بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، ته‌نشست نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار مقدار نیتروژن کل و همچنین کاهش معنی‌دار مقدار فسفر در خاک نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). دلیل افزایش نیتروژن می‌تواند ناشی از افزایش نیتروژن به شکل آمونیم و نیترات به صورت ماهانه باشد. نتایج این پژوهش مطابق با نتایج (Gao 2015) Zhang (2014) و (Gundersen *et al.*, 1998) بود. (Turner *et al.*, 2003) و (Sumann 1998) گزارش کردند. در حالی که نتایج مخالف را در مورد فسفر گزارش کرد. نتایج متفاوت می‌تواند ناشی از محتوای رطوبت خاک باشد که بر فعالیت ریزجانداران خاک و آنزیم فسفاتاز مؤثر است (Turner and Romero, 2010).

مطابق جدول ۲، افزایش نیتروژن باعث کاهش پتاسیم در خاک شد. کاهش میزان پتاسیم در خاک نشان‌دهنده اشباع نیتروژن در خاک است به این مفهوم که نیتروژن اضافه شده طی فرآیند آب‌شویی از خاک خارج شده است (Asner *et al.*, 2001). به دلیل بالا بودن محتوای نیتروژن خاک، این توده نمی‌تواند مقدار نیتروژن بیشتری را تحمل کند و لذا آب‌شویی مقدار زیادی از نیتروژن رخ داد (Fang *et al.*, 2006). آب‌شویی نیتروژن غیر آلی، به

جدول ۲- اثر تیمارهای مختلف تنشست نیتروژن (کم، متوسط و زیاد) بر غلظت عناصر خاک (میانگین±اشتباه معیار) در توده دست‌کاشت افرا پلت

Table 2. The effects of different nitrogen deposition treatments (low, medium and high) on soil nutrients concentrations (mean ± standard error) in maple plantation stand

تیمار تنشست نیتروژن				فصول نمونه برداری Sampling seasons	ویژگی‌های خاک Soil Properties
زیاد High	متوسط Medium	کم Low	شاهد Control		
0.49±0.01 a	0.40±0.01 b	0.37±0.01 b	0.38±0.001 b	تابستان Summer	نیتروژن کل (%) Total nitrogen (%)
0.52±0.01 a	0.44±0.01 b	0.35±0.01 c	0.34±0.01 c	پاییز Fall	
0.53±0.006 a	0.46±0.012 b	0.39±0.001 c	0.38±0.004 c	زمستان Winter	
0.59±0.013 a	0.47±0.010 b	0.41±0.011 c	0.36±0.006 c	بهار Spring	
20.66±0.98 b	21.61±1.56 b	23.88±1.12 b	34.86±1.09 a	تابستان Summer	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) Phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )
16.36±0.91 c	18.17±1.13 b	20.64±0.28 b	35.95±10.01 a	پاییز Fall	
15.53±0.67 c	17.40±0.51 b	23.38±0.59 a	23.45±0.75 a	زمستان Winter	
14.95±0.43 d	15.98±0.39 b	23.20±1.12 a	24.97±1.05 a	بهار Spring	
743.96±0.07 c	834.62±0.11 b	840.56±0.15 b	894.55±0.22 a	تابستان Summer	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم) Potassium (mg kg <sup>-1</sup> )
7.18.30±0.09 d	789.71±0.16 c	824.67±0.16 b	897.50±0.06 a	پاییز Fall	
697.15±0.06 c	757.12±0.15 b	813.10±0.06 a	828.42±0.11 a	زمستان Winter	
743.96±0.11 d	834.62±0.15 c	840.56±0.06 b	894.55±0.05 a	بهار Spring	
4.92±0.07 a	4.29±0.11 a	4.08±0.15 a	3.94±0.22 a	تابستان Summer	کربن آلی (%) Organic Carbon (%)
6.10±0.09 a	5.70±0.16 a	5.61±0.16 a	6.52±0.06 b	پاییز Fall	
6.25±0.06 a	5.15±0.26 b	5.06±0.10 b	3.65±0.11 c	زمستان Winter	
6.11±0.19 a	5.83±0.15 b	5.60±0.06 b	3.96±0.05 c	بهار Spring	
9.87±0.26 a	10.54±0.41 a	10.94±0.70 a	10.34±0.54 a	تابستان Summer	نسبت کربن به نیتروژن (C/N)
11.65±0.34 a	12.61±0.61 a	15.78±0.92 a	10.20±0.49 a	پاییز Fall	
11.69±0.19 b	12.23±0.50 b	14.29±0.21 a	9.53±0.30 c	زمستان Winter	
11.32±0.33 bc	12.35±0.55 ab	13.53±0.32 a	10.28±0.04 c	بهار Spring	

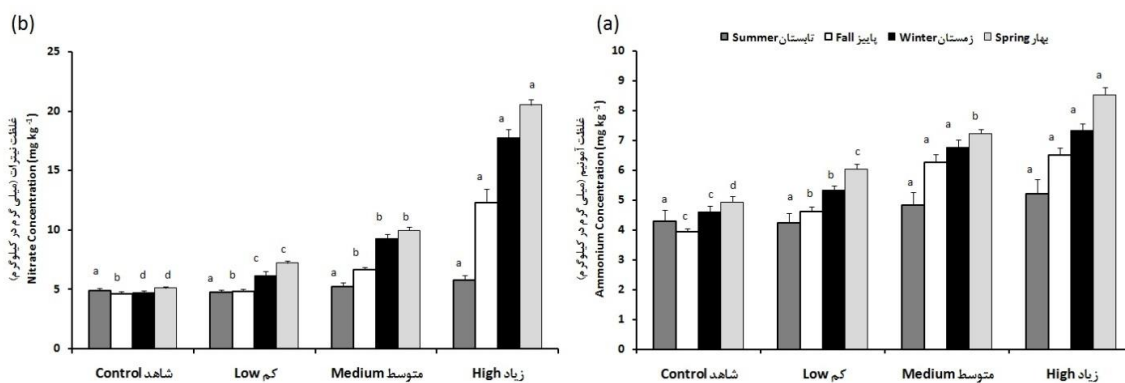
حروف لاتین غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) در یک فصل بین تیمارهای مختلف تنشست نیتروژن است.

Different letters indicate significant differences (P<0.05) between nitrogen deposition treatments within each season.



تغییرات نیترات در خاک مربوط به تیمار ته‌نشست نیتروژن زیاد بود که اضافه شدن نیتروژن به فرم نیترات و همچنین وقوع فرآیند تولید نیترات در حضور مقدار زیادی از آمونیم می‌تواند از دلایل آن باشد (Gao et al., 2015). همچنین نتایج همبستگی پیرسون رابطه مثبت و معنی‌داری بین غلظت نیترات و آمونیم نشان داد. افزایش غلظت آمونیم و نیترات خاک طی فرآیند ته‌نشست نیتروژن در پژوهش Xingren et al. (2017) نیز گزارش شده است.

مطابق شکل ۳، ته‌نشست نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار مقدار آمونیم و نیترات در خاک شد که با نتایج Fang et al. (2007)، Guo-Liang et al. (2006) و (1998) Gundersen et al. همخوانی داشت. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که اثر ته‌نشست نیتروژن بر محتوای نیتروژن خاک بستگی به نوع جنگل دارد که ناشی از تفاوت در چرخه نیتروژن، محتوای نیتروژن و راه‌های ورود نیتروژن معدنی به خاک است (Gao et al., 2015). نتایج نشان داد که بیشترین



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن بر غلظت آمونیم (الف) و نیترات (ب) خاک در توده دست‌کاشت افرا پلت. حروف لاتین غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) در یک فصل بین تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن است (خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه معیار است)

Fig. 3- The effects of different nitrogen deposition treatments on concentrations of ammonium (a) and nitrate (b) of soil in maple plantation stand. Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) between nitrogen deposition treatments within each season (bars indicate the standard error)

جدول ۳- نتایج همبستگی پیرسون ویژگی‌های شیمیایی خاک  
Table 3. Pearson correlation results of soil chemical properties

آمونیم Ammonium	کربن آلی Organic carbon	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorous	نیتروژن کل Total nitrogen	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH	
						0.85**	هدایت الکتریکی EC
					-0.81**	-0.85**	نیتروژن کل Total nitrogen
				-0.63**	0.70**	0.69**	فسفر Phosphorous
			0.82**	-0.85**	0.86**	0.87**	پتاسیم Potassium
		-0.753*	-0.79**	0.65**	-0.79**	-0.72**	کربن آلی Organic Carbon
	0.77**	-0.79**	-0.674**	0.76**	-0.71**	-0.77**	آمونیم ammonium
0.78**	0.71**	-0.79**	-0.58**	0.82**	-0.85**	0.82**	نیترات Nitrate

\*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، \*\*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار  
\* Significant at 5% level, \*\* significant at 1% level, ns: no significant difference

می‌تواند تا حدی باعث افزایش رویش درختان شود ولی با گذشت زمان و اشباع نیتروژن در خاک و وقوع پدیده آب-شویی نیترات و کاهش حاصلخیزی خاک، شرایط برای رشد و رویش گیاهان نامناسب خواهد شد و در بلندمدت کاهش تنوع زیستی گیاهی را به دنبال خواهد داشت. با توجه به کمبود اطلاعات درباره اثرات ته‌نشست نیتروژن بر ویژگی‌های خاک، انجام مطالعات گسترده‌تر در ارتباط با اثرات آن بر ویژگی‌های زیستی خاک از جمله فعالیت میکروبی و آنزیمی و همچنین تنفس خاک پیشنهاد می‌شود. نتایج این پژوهش‌ها می‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت جنگل‌های دست‌کاشت و طبیعی در اطراف مناطق صنعتی کشور باشد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که هزینه‌های این پژوهش را تأمین کرد تشکر و قدردانی می‌شود.

Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P. and Melillo, J.M., 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bio Science*. 39, 378–386.

Anonymous, 1996. Forest Management Plan of Darabkola Forest. Published by Forests, Range and Watershed Management Organization of Iran.

Anonymous, 2013. Statistics of synoptic stations, Meteorological Organization of Mazandaran Province.

Asner, G.P., Townsend, A.R., Riley, W.J., Matson, P.A., Neff, J.C. and Cleveland, C.C., 2001. Physical and biogeochemical controls over terrestrial ecosystem responses to nitrogen deposition. *Biogeochemistry*. 54, 1–39.

نتایج همبستگی ویژگی‌های شیمیایی خاک نشان داد که مقدار pH با EC، پتاسیم، فسفر و نیترات همبستگی مثبت و با مقدار نیتروژن کل، کربن آلی و آمونیم همبستگی منفی داشت. مقدار نیتروژن کل با کربن آلی، آمونیم و نیترات همبستگی مثبت و با مقدار فسفر و پتاسیم همبستگی منفی داشت (جدول ۳).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال) بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در توده دست‌کاشت افرا پلت بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که توده دست‌کاشت افرا پلت توانایی تحمل مقدار ته‌نشست نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال را دارد، اما افزایش مقدار آن با اثرات مخربی بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH و EC، پتاسیم، فسفر، نیتروژن کل، آمونیم و نیترات همراه بود. افزایش نیتروژن در مراحل اول

### منابع

Berg, B. and Matzner, E., 1997. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Reviews*. 5, 1-25.

Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamante, M., Cinderby, S., Davidson, E., Dentener, F., Emmet, B., Erisman, J. W., Fenn, M., Gilliam, F., Nordin, A., Pardo, L., and De Vries, W., 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*. 20, 30-59.

Bouyoucos, G.J., 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. *American Society of Agronomy*. 43, 434–438.

- Cornell, S.E., Jickells, T.D. and Cape, J.N., 2003. Organic nitrogen deposition on land and coastal environments, a review of methods and data. *Atmospheric Environment*. 37, 2173–2191.
- Du, E., 2017. Integrating species composition and leaf nitrogen content to indicate effects of nitrogen deposition. *Environmental Pollution*. 221, 392-397.
- Erisman, J. W. and Draaijers, G. 2003. Deposition to forests in Europe, most important factors influencing dry deposition and models used for generalisation. *Environmental Pollution*. 124, 379–388.
- Espahbodi, K., Khoranke, S., Pourpanah, H., Rezaei, S., and Bagheri A., 2007. The effect of habitat factors on growth and resistance maple seedlings in nursery. *Iranian Journal of Rangelands Forests Plant Breeding and Genetic Research*. 15, 42-50 (In Persian with English abstract).
- Fan, H.B. and Hong, W., 2001. Estimation of dry deposition and canopy exchange in Chinese fir plantations. *Forest Ecology and Management*. 147, 88-107.
- Fang, H., Mo, J., Peng, S., Li, Z., and Wang, H., 2007. Cumulative effects of nitrogen additions on litter decomposition in three tropical forests in southern China. *Plant and Soil*. 297, 233-242.
- Fang, H., Mo, J., Peng, S., Li, Z. and Wang, H., 2007. Cumulative effects of nitrogen additions on litter decomposition in three tropical forests in southern China. *Plant and Soil*. 297, 233-242.
- Fang, Y.T., Gundersen, P., Mo, J.M. and Zhu, W.X., 2008. Input and output of dissolved organic and inorganic nitrogen in subtropical forests of South China under high air pollution. *Biogeosciences*. 5, 339–352.
- Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B. and Cosby, B.J., 2003. The nitrogen cascade. *Bioscience*. 53, 341-356.
- Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Asner, G.P., Cleveland, C.C., Green, P.A., Holland, E.A., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H., Townsend, A.R. and Vorosmarty, C.J., 2004. Nitrogen cycles, past, present, and future. *Biogeochemistry*. 70, 153-226.
- Gao, W., Zhao, W., Yang, H., Yang, H., Chen, G., Luo, Y., Fang, H. and Li, S., 2015. Effects of nitrogen addition on soil inorganic N content and soil N mineralization of a cold-temperate coniferous forest in Great Xing'an Mountains. *Acta Ecologica Sinica*. 35, 130-136.
- Ghazanshahi, J., 1997. Soil and plant analysis. Homa Publications, Tehran, Iran.
- Gruber, N. and Galloway, J.N., 2008. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*. 451, 293–296.
- Gundersen, P., Emmett, B. A., Kjonaas, O. J., Koopmans, C. J. and Tietema, A., 1998. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests, A synthesis of NITREX data. *Forest Ecology and Management*. 101, 37–55.
- Guo-Liang, X.U., Jiang-Ming, M.O., Guo-Yi, Z.H.O.U. and Sheng-Lei, F.U., 2006. Preliminary response of soil fauna to simulated N deposition in three typical subtropical forests 11 project supported by the national natural science foundation of China. *Pedosphere*. 16, 596-601.

- Högberg, P., Fan, H., Quist, M., Binkley, D. and Tamm, C.O., 2006. Tree growth and soil acidification in response to 30years of experimental nitrogen loading on boreal forest. *Global Change Biology*. 12, 489–499.
- Hojjati, S.M., Hagen-Thorn, A, and Lamersdorf, N.P., 2009. Canopy composition as a measure to identify patterns of nutrient input in a mixed European beech and Norway spruce forest in central Europe. *European Journal of Forest Research*. 128, 13–25.
- Jafarihaghighi, M., 2003. Sampling and analysis of important physical and chemical soil analysis. Neda Zoha Press. Tehran, Iran.
- Kou, L., Wang, H., Gao, W., Chen, W., Yang, H. and Li, S., 2017. Nitrogen addition regulates tradeoff between root capture and foliar resorption of nitrogen and phosphorus in a subtropical pine plantation. *Trees*, 31, 77–91.
- Liu, X., Song, L., He, C. and Zhan, F., 2010. Nitrogen deposition as an important nutrient from the environment and its impact on ecosystems in China. *Journal of Arid Land*. 2, 137–143.
- Magill, A.H., Aber, J.D., Currie, W.S., Nadelhoffer, K.J., Martin, M.E., McDowell, W.H., Melillo, J. M. and Steudler, P., 2004. Ecosystem response to 15 years of chronic nitrogen additions at the Harvard Forest LTER, Massachusetts, USA. *Forest Ecology and Management*. 196, 7–28.
- Marvi Mohajer, M. R. 2007. *Silviculture*. Tehran University Press, Tehran, Iran.
- Minocha, R., Long, S., Magill, A. H., Aber, J. and McDowell, W. H., 2000. Foliar free polyamine and inorganic ion content in relation to soil and soil solution chemistry in two fertilized stands at the Harvard Forest, Massachusetts. *Plant and Soil*. 222, 119–137.
- Mo, J., Zhang, W., Zhu, W., Fang, Y., Li, D. and Zhao, P., 2007. Response of soil respiration to simulated N deposition in a disturbed and a rehabilitated tropical forest in southern China. *Plant Soil*. 296, 125–135.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy*, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 961–1010.
- Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Nasholm, T. and Ericson, L., 2005. Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests, Implications for the nitrogen critical load. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 34, 20–24.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. *USDA Circular 030*. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Potter, P., Ramankutty, N., Bennett, E.M. and Donner, S.D., 2010. Characterizing the spatial patterns of global fertilizer application and manure production. *Earth Interactions*. 14, 1-22.
- Sabeti, H. 2008. *Forests, Trees and Shrubs of Iran*. Yazd University press. Yazd, Iran.
- Salahi, A., Gruber, F., Geranfar, S. and Moniri, V.R., 2014. Investigation on nitrogen deposition in the greater Tehran metropolitan area and Caspian Sea lowland areas of Iran, up to altitude of 2200 meters. *International Journal of AgriScience*. 4, 426-431.

- Song, Y., Song, C., Meng, H., Swarzenski, C.M., Wang, X. and Tan, W., 2017. Nitrogen additions affect litter quality and soil biochemical properties in a peatland of Northeast China. *Ecological Engineering*. 100, 175-185.
- Stevens, C.J., Lind, E.M., Hautier, Y., Harpole, W.S., Borer, E.T., Hobbie, S., Seabloom, E.W., Ladwig, L., Bakker, J.D., Chu, C. and Collins, S., 2015. Anthropogenic nitrogen deposition predicts local grassland primary production worldwide. *Ecology*. 96, 1459-1465.
- Sumann, M., Amelung, W., Haumaier, L. and Zech, W., 1998. Climatic effects on soil organic phosphorus in the North American Great Plains identified by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. *Soil Science Society of America Journal*. 62, 1580-1586.
- Turner, B.L. and Romero T.E., 2010. Stability of hydrolytic enzyme activity and microbial phosphorus during storage of tropical rain forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 42, 459-465.
- Turner, B.L., Chudek, J.A., Whitton, B.A. and Baxter, R., 2003. Phosphorus composition of upland soils polluted by long-term atmospheric nitrogen deposition. *Biogeochemistry*. 65, 259-274.
- Vitousek, P.M. and Howarth, R.W., 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea, How can it occur? *Biogeochemistry*. 13, 87-115.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A. and Schindler, D.W., 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle, sources and consequences. *Ecological Applications*. 7, 737-750.
- Wang, S., Chen, J.M., Ju, W.M., Feng, X., Chen, M., Chen, P. and Yu, G., 2007. Carbon sinks and sources in China's forests during 1901-2001. *Journal of Environmental Management*. 85, 524-537.
- Wei, X., Blanco, J.A., Jiang, H. and Kimmins, J.H., 2012. Effects of nitrogen deposition on carbon sequestration in Chinese fir forest ecosystems. *Science of the Total Environment*. 416, 351-361.
- Xian-Kai, L.U., Jiang-Ming, M.O., Gundersen, P., Wei-Xing, Z.H.U., Guo-Yi, Z.H.O.U., De-Jun, L.I. and Zhang, X., 2009. Effect of Simulated N Deposition on Soil Exchangeable Cations in Three Forest Types of Subtropical China. *Pedosphere*. 19, 189-198.
- Xingren, L.I.U., Zhang, Q., Shengong, L.I., Zhang, L. and Jianqiang, R.E.N., 2017. Simulated NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N Deposition Inhibits CH<sub>4</sub> Uptake and Promotes N<sub>2</sub>O Emission in the Meadow Steppe of Inner Mongolia, China. *Pedosphere*. 27, 306-317.
- Zhang, G., Chen, Z., Zhang, A., Chen, L. and Wu, Z., 2014. Influence of climate warming and nitrogen deposition on soil phosphorus composition and phosphorus availability in a temperate grassland. China. *Journal of Arid Land*. 6, 156-163.
- Zhang, L., Zou, J. and Siemann, E., 2017. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen deposition accelerate litter decomposition cycles of invasive tree (*Triadica sebifera*). *Forest Ecology and Management*. 385, 189-197.
- Zhang, W., Mo, J., Fang, Y., Lu, X. and Wang, H., 2008. Emissions of nitrous oxide from three tropical forests in Southern China in response to simulated nitrogen deposition. *Plant and Soil*, 306, 221-236.

Zhu, X., Zhang, W., Chen, H. and Mo, J., 2015.  
Impacts of nitrogen deposition on soil nitrogen  
cycle in forest ecosystems: A review. *Acta  
Ecologica Sinica*. 35, 35-43.





## The effect of simulated nitrogen deposition on soil chemical properties in maple plantation stand

Mehrcehdeh Tafazoli<sup>1</sup>, Hamid Jalilvand<sup>1\*</sup>, Seyyed Mohammad Hojjati<sup>1</sup> and Norbert Lamersdorf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

<sup>2</sup> Department of Temperate Soil Science, University of Göttingen, Institute of Soil Science, Göttingen, Germany

Received: 2017.02.05

Accepted: 2017.07.25

**Tafazoli, M., Jalilvand, H., Hojjati, S.M. and Lamersdorf, N., 2017.** The effect of simulated nitrogen deposition on soil chemical properties in maple plantation stand. *Environmental Sciences*. 15(2): 39-54.

**Introduction:** The amount of nitrogen compounds released into the atmosphere has increased, and is higher in industrial areas due to the increasing usage of fossil fuels and chemical fertilizers (Gruber and Galloway, 2008). Nitrogen deposition is one of the consequences of increasing atmospheric nitrogen compounds. Nitrogen deposition refers to a process that nitrogen compounds in the atmosphere deposit on a solid surface (Cornell *et al.*, 2003). Due to the lack of information about the effects of nitrogen deposition on forest soil properties, the aim of this study was to investigate the effects of simulated nitrogen deposition on soil chemical properties in a maple plantation located at the educational and research forest of Faculty of Natural Resources (Sari).

**Materials and methods:** Twelve plots of 20 m × 10 m were established in the study plantation stand. Four nitrogen treatments were considered including zero (control), 50 (low), 100 (medium) and 150 (high) kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Nitrogen in the form of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> solution was manually sprayed onto the plots monthly during one year. Three soil samples were taken seasonally at a depth of 0-10 cm in each plot using a coring method and were transported to the laboratory (Xingren *et al.*, 2017). In the laboratory, the physical properties including water content and soil texture were measured by a weighing and hydrometer method, respectively. Chemical properties of soil including pH and EC were measured by potentiometric and electrical conductivity methods, respectively (Soil to water ratio 1:2.5). Soil organic carbon, total nitrogen, phosphorus and potassium were measured using the Walkley and Black method, Kjeltex System Instrument, Olsen P extracting solution and extracted using ammonium acetate, respectively.

**Results and discussion:** The results showed that the nitrogen deposition had significantly decreased the pH and EC. At the end of the study period, the amount of nitrogen in medium (0.47% ± 0.010) and high (0.59% ±

---

\* Corresponding Author. *E-mail Address:* hj\_458\_hj@yahoo.com

0.013) treatments was significantly higher than the control ( $0.36\% \pm 0.006$ ). The amount of phosphorus in medium ( $15.95 \pm 0.39 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and high ( $14.95 \pm 0.43 \text{ mg kg}^{-1}$ ) treatments was significantly lower than the control ( $24.97 \pm 1.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ). In addition, nitrogen deposition had caused a significant reduction in soil potassium. The amounts of ammonium (low: 6.04, medium: 7.23 and high: 8.53) and nitrate (low: 7.21, medium: 9.95 and high: 20.51) were significantly higher than in the control treatment (ammonium: 4.93 nitrate: 5.06). The reason for reduced soil pH and EC can be the leaching of base cations followed by leaching of nitrate and an increased ammonium concentration in the soil. The reason for increased nitrate can be its addition as well as the production of nitrate in the presence of ammonium. In general, results showed that the nitrogen deposition treatments had destructive effects on soil chemical properties that decreased pH and EC, potassium and phosphorus and increased the total nitrogen, organic Carbon, ammonium and nitrate in the soil.

**Conclusion:** Increased nitrogen at the early stages may be partly responsible for tree growth but, with the passage of time and the saturation of nitrogen in the soil and the occurrence of nitrate leaching as well as loss of soil fertility, conditions for the growth of plants would become unsuitable. Due to a lack of data on the effects of nitrogen deposition on soil properties, extensive studies about its effects on the soil chemical and biological properties, such as soil microbial and enzyme activities as well as soil respiration, is suggested.

**Keywords:** Nitrogen deposition, ammonium, Nitrate, Darabkola forest.