Research Article

Iranian Journal of Range and Desert Research DOI: 10.22092/ijrdr.2024.130967
Vol. 30, No. 4, Page 542-556 (2024)

Investigating the effect of atmospheric nitrogen deposition on annual alfalfa roots and biochemical properties of rangeland soil

M. Daneshi[1], M. Azimi[2*], H. Niknahad[3] and E. Faghani[4]

1. Corresponding author; PhD. Student in Range Management, Department of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2*-Corresponding author, Associate Prof., Department of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mmail: azimi.mojgansadat@gmail.com
3. Assistant Prof., Department of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Assistant Professor, Agronomy Department, Cotton Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

Received: 08/19/2023 Accepted: 02/05/2024

Abstract

Background and objectives
Due to the increase in the consumption of fossil fuels and chemical fertilizers, especially nitrogen-containing fertilizers, the entry of nitrogen into the cycle of ecosystems has been more than normal.Nitrogen deposition as a consequence of increasing nitrogen input to the atmosphere, can be a threat to ecosystems. It can affect soil properties, soil microorganisms and their activities, vegetation and animals. The aim of the present study is to investigate the effects of deposition of different rates of atmospheric nitrogen on the biochemical properties of a summer rangeland's soil.

Methodology
For this purpose, the seeds of Medicago sativa were planted in 36 pots containing rangeland soil in a completely randomized block design. Two months after seed germination in pots, six Nitrogen treatments included control,30, 60,90,120 and 150 kg ammonium nitrate/ha which dissolved in water were applied in 6 replications during a period of 75 days. At the end of experiment, some soil biochemical properties (acidity, electrical conductivity, absorbable phosphorus, total nitrogen, organic carbon and exchangeable potassium along with biomass and microbial respiration) and Root weight and depth factors were measured. Data analysis was done using analysis of variance method and mean comparison was done using Duncan's test.

Results
The results demonstrated that increasing the level of ammonium nitrate deposition to 60 and 90 kg per hectare per year, despite the significant increase ($p < 0.05$) of organic carbon and total soil nitrogen, causes a significant decrease in other measured biochemical properties of the soil ($p < 0.05$). An increase in nitrogen deposition in the early stages may be partially responsible for root growth, but with nitrogen saturation in the soil and the occurrence of nitrate leaching, as well as the loss of soil fertility, unfavorable conditions for root growth are provided. With the increase of nitrogen deposition in the soil, up to the level of 60 kg /ha, the average respiration and microbial biomass increased, But at higher

levels of nitrogen deposition, respiration and microbial biomass decreased.
Conclusion
In case of an increase in mineral nitrogen deposition in the studied area, it is recommended to use the Medicago sativa in the improvement of vegetation restoration projects of summer rangelands to absorb the deposed mineral nitrogen in excess of the soil holding capacity, its alleviate negative consequences and creating a suitable root zone for the the activity of soil microbial.

Keywords: Deposition, Ammonium nitrate, Rangeland Improvement, Summer Rangelands.

بررسی اثر ته‌نشست نیتروژن اتمسفری بر ریشه‌دوانی یونجه یکساله و خصوصیات بیوشیمیایی خاک مرتع

محمد دانشی[۱]، مژگان‌سادات عظیمی[۲*]، حمید نیک‌نهاد قرماخر[۳] و الهام فغانی[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

پست‌الکترونیک: azimi.mojgansadat@gmail.com

۳- استادیار، گروه مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- استادیار موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

چکیده

مقدمه

با توجه به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی، مقدار ورود ترکیبات نیتروژن‌دار به جو به‌ویژه در مناطق صنعتی افزایش یافته است. رسوب نیتروژن، پیامد افزایش میزان ورودی نیتروژن به اتمسفر است که می‌تواند تهدیدکننده اکوسیستم‌ها باشد و بر خصوصیات شیمیایی خاک، میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنها مؤثر واقع شود. هدف از این پژوهش، مطالعه تغییرات خصوصیات بیوشیمیایی خاک با توجه به مقادیر احتمالی افزایش ته‌نشست نیتروژن در اثر فعالیت‌های مخرب انسانی است.

روش تحقیق

بدین منظور بذر گونه یونجه همدانی (*Medicago Sativa L.*) به عنوان یک گیاه معرف تثبیت‌کننده نیتروژن انتخاب و به‌صورت طرح بلوک کاملاً تصادفی در ۳۶ گلدان حاوی خاک مرتع مورد نظر کشت گردید. ۲ ماه پس از جوانه‌زنی بذرها در گلدان‌ها، شش تیمار (شاهد، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) نیترات آمونیوم محلول در آب، طی دوره‌ای ۷۵ روزه، در ۶ تکرار بر روی خاک اسپری شد. سپس در محیط آزمایشگاه، برخی خصوصیات بیوشیمیایی خاک (شامل اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب، نیتروژن کل، کربن آلی و پتاسیم تبادلی به همراه بیوماس و تنفس میکربی) و شاخص‌های وزن و عمق ریشه اندازه‌گیری گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از روش تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که با افزایش نیتروژن حاصل از ته‌نشست تغییرات معنی‌داری در فاکتورهای مورد بررسی بوجود آمد. با افزایش سطح رسوبات نیترات آمونیوم به ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال، با وجود افزایش معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک، سبب کاهش معنی‌دار سایر خصوصیات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده خاک می‌گردد ($p < ۰/۰۵$). با افزایش بیش از حد ته‌نشست نیتروژن و برهم خوردن تعادل عناصر، توقف رشد و از بین رفتن اندام زیرزمینی مشاهده شد. با افزایش ته‌نشست شبیه‌سازی شده در خاک تا سطح ۶۰ کیلوگرم، میانگین تنفس و بیوماس میکروبی افزایش یافت. اما در سطوح بالاتر

ته‌نشست نیتروژن، تنفس و بیوماس میکروبی کاهش یافت و به کمتر از میانگین تنفس و بیوماس گلدان‌های شاهد رسید.

نتیجه‌گیری

بر این اساس، استفاده از گیاه یونجه در پروژه‌های اصلاح مراتع ییلاقی و احیا پوشش گیاهی به منظور جذب نیتروژن معدنی ته‌نشست شده مازاد بر ظرفیت نگهداشت خاک و پیامدهای منفی آن و ایجاد ناحیه ریشه‌ای مناسب برای فعالیت جامعه میکروبی خاک، توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ته‌نشست، نیترات آمونیوم، اصلاح مرتع، مرتع ییلاقی.

مقدمه

به دلیل فعالیت‌های انسانی از قبیل صنایع مختلف، کاربرد سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی، مقدار ورود ترکیبات نیتروژن‌دار به جو زمین به‌ویژه در مناطق صنعتی افزایش یافته (Galloway *et al.*, 2008) و از ۱۵ واحد برحسب تراگرم نیتروژن در سال ۱۸۶۰ به ۱۵۶ واحد در اوایل ۱۹۹۰ رسید و پیش‌بینی می‌شود که به‌دلیل افزایش تقاضای جامعه انسانی برای مواد غذایی و انرژی تا سال ۲۰۵۰ میلادی این رقم به ۲۷۰ تراگرم نیتروژن در سال افزایش یابد (Gallagher *et al.*, 1997 , Liu *et al.*,2016). ازاین‌رو چرخه نیتروژن، مسئله‌ای جهانی بوده و نیازمند پژوهش‌های گسترده است. ترکیبات نیتروژنی موجود در جو می‌توانند از راه واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی، باعث تشکیل ذرات معلق و جابه‌جایی صدها و گاهی هزاران تن نیتروژن از راه جریانات جوی شوند (Liu *et al.*,2016). افزایش میزان ورودی نیتروژن به اتمسفر به تهدید اکوسیستم‌های طبیعی و انسان‌ساخت منجر شده و پیامدهای منفی آن بر ساختار و کارکردهای حیاتی اکوسیستم‌ها نگرانی‌های جهانی را برانگیخته است (Magill *et al.*, 2004). ازجمله پیامدهای افزایش ترکیبات نیتروژن‌دار در جو، پدیده رسوب نیتروژن (Nitrogen Deposition) است که امروزه مقدار آن حدود دو تا پنج برابر افزایش یافته است (Galloway *et al.*, 2004). ته‌نشست نیتروژن فرایندی است که طی آن ترکیبات نیتروژنی موجود در هوا (اکسیدهای نیتروژن، آمونیاک، آمونیم و نیترات) به دو شکل رسوب‌تر و خشک بر روی سطوح جامد می‌نشینند (Cornell *et al.*, 2003). ته‌نشست نیتروژن جوی جزء جدایی‌ناپذیر چرخه نیتروژن جهان است (Liu *et al.*, 2016) بااین‌حال، افزایش سریع مقدار ته‌نشست نیتروژن در جو به یک مجموعه مشکلات اکولوژیکی و زیست محیطی منجر می‌شود (Fowler *et al.*, 2013). در صورتی که مقدار نیتروژن ورودی به خاک از ظرفیت نگهداری آن بیشتر باشد، هدررفت نیتروژن به صورت انتشار اکسید نیتروژن یا آبشویی افزایش می‌یابد (Zhu *et al.*, 2015; Du, 2017). آبشویی نیتروژن خاک موجب شسته شدن همزمان کاتیون‌های قلیایی شده و تعادل مواد مغذی موجود در خاک را تهدید می‌کند. تغییر در محتوای کاتیون‌های قلیایی بر حاصلخیزی خاک، تجزیه لاشبرگ‌ها، ترکیب پوشش گیاهی و در نهایت تولید گیاهی اثرگذار است (Nordin *et al.*,2005). نیتروژن معدنی بر خصوصیات خاک و چرخه‌های عناصر غذایی ازجمله کربن، اثرگذار است. میزان اثرگذاری نیتروژن معدنی بر چرخه کربن به نوع اکوسیستم و طول مدتی که آن اکوسیستم در معرض افزایش غلظت نیتروژن قرار می‌گیرد، بستگی دارد. تغییر در خصوصیات خاک ناشی از ته‌نشست نیتروژن می‌تواند بر فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک اثرهای معنی‌داری داشته باشد (Zhou *et al.*, 2021). رسوب

نیتروژن می‌تواند محدودیت نیتروژن میکروارگانیسم‌های خاک را کاهش دهد و در عین حال فعالیت میکروبی همچنین سرعت تجزیه مواد آلی خاک را افزایش دهد که ممکن است منجر به از دست دادن کربن خاک شود (Gomez-Casanovas *et al.*, 2016). برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند که رسوب نیتروژن با تغییر اسیدیته خاک، سبب افزایش فراهمی فلزات سمی از قبیل آهن و آلومینیوم شده و از این نظر اثر بازدارنده‌ای بر رشد میکروارگانیسم‌ها دارد (Eisenhofer *et al.*, 2019). به‌طورکلی، ته‌نشست نیتروژن بر خصوصیات خاک، میکروارگانیسم‌های خاک و فعالیت آنها، پوشش گیاهی و جانوران اثرگذار است (De Vries and Schulte-Uebbing, 2019). اکوسیستم‌های گیاهی بنا به دلایلی مانند صفات فیزیولوژیکی برگ، شاخص سطح برگ و زبری سطح بیشتر از مناطق بدون پوشش گیاهی در معرض ته‌نشست نیتروژن قرار دارند (Erisman and Draaijers, 2003). مراتع به عنوان بزرگترین اکوسیستم خشکی در جهان حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل مساحت زمین را تشکیل می‌دهند که به‌دلیل برداشت مواد غذایی از خاک و جایگزین نشدن آن همواره دچار محدودیت مواد مغذی خاک هستند (Chen *et al.*, 2017). مقدار ته‌نشست نیتروژن در شمال ایران بین ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال تخمین زده شده است (Marvi Mohajer, 2007) که با توسعه صنایع می‌تواند در سال‌های آینده افزایش پیدا کند و بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی کربن، فسفر و نیتروژن اکوسیستم‌های مرتعی پیامدهای مثبت و منفی به همراه داشته باشد (Quinn Thomas *et al.*, 2010). در مورد پیامدهای مثبت (کاهش محدودیت نیتروژن معدنی برای فعالیت میکربی و رشد گیاهی) و در مورد پیامدهای منفی (اسیدی شدن، افزایش فراهمی فلزات سمی و آبشویی کاتیون‌های قلیایی خاک) می‌توان اشاره کرد. ازاین‌رو، درک تغییرات خصوصیات خاک مراتع برای حفظ عملکرد اکولوژیکی اکوسیستم‌های شکننده مرتعی و کیفیت علوفه آنها اهمیت زیادی دارد. با توجه به اثرهای خصوصیات خاک بر پراکنش گونه‌های گیاهی مرتعی، پیش‌بینی تغییرات خصوصیاتی مانند اسیدیته یا فراهمی عناصر غذایی در خاک مراتع برای مدیریت آن بسیار حائز اهمیت است (Arrekhi *et al.*, 2021). وجود باکتری‌هایی از جنس ریزوبیوم در گرهک‌های ریشه یونجه موجب تثبیت نیتروژن اتمسفر می‌شوند. استفاده از گیاهان خانواده لگومینوزه که تلفیق فعالیت ریشه این گیاهان شرایط و محیط مناسب برای رشد و تکثیر جامعه میکروبی همراه را فراهم می‌کند، می‌تواند برای تجزیه و انتقال نیتروژن خاک مهم باشد (Gunther *et al.*, Cunningham *et al.*, 1996; 1996). در این پژوهش سعی بر آن شده است تا درک مناسبی از تغییرات احتمالی خصوصیات بیوشیمیایی خاک مراتع ییلاقی شمال کشور و نقش گیاه مرتعی یونجه با توجه به مقادیر احتمالی افزایش رسوبات نیتروژن در سال‌های آینده بدست آید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مراتع ییلاقی شهرستان آزادشهر از توابع استان گلستان در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۴ دقیقه، در ارتفاع متوسط ۱۲۸۵ متر از سطح دریا قراردارد. میانگین بارندگی منطقه به ۲۸۰ میلی‌متر می‌رسد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱)، از عمق ۲۰-۰ سانتیمتری نمونه‌برداری شد. سپس خاک همین عمق به ۳۶ گلدان (ابعاد ۱۲ ×۱۲× ۱۲ سانتی‌متر) منتقل گردید. برای کاشت از تعداد ۵ بذر گونه یونجه همدانی (*Medicago Sativa*) که از گونه‌های متداول در عملیات اصلاح مراتع ییلاقی استان گلستان بود، در هر گلدان استفاده شد. گلدان‌ها در محیط گلخانه شیشه‌ای در شرایط کنترل‌شده (دمای ۲۱ درجه

سانتی‌گراد) مستقر شدند. طول دوره مطالعه برابر دوره زندگی یونجه همدانی در مراتع ییلاقی شهرستان آزادشهر (۱۳۵ روز) در نظر گرفته شد و گلدان‌ها در حدود متوسط مقدار بارندگی بین ماه‌های اسفند تا تیر (۲۸۰ میلی‌متر) در شهرستان آزادشهر آبیاری شدند. برای پرهیز از هر گونه اثر منفی مقادیر بالای رسوب نیتروژن بر جوانه‌زنی و رشد اولیه نهال‌های یونجه همدانی، در ابتدا تمامی گلدان‌ها به مدت دو ماه در فواصل مشخص زمانی (هر پنج روز) با استفاده از اسپری، آب شهری دریافت کردند (Tafazoli *et al.*, 2017; Xuan *et al.*,2018). سپس، گلدان‌ها به ۶ تیمار دریافت‌کننده ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار در سال بعلاوه شاهد (هریک ۶ تکرار) تقسیم شده و طی یک دوره ۷۵ روزه با استفاده از کود نیترات آمونیوم حل شده در آب (Jamieson *et al.*, 2013) با فواصل زمانی پنج روزه بر روی خاک اسپری شدند و در پایان دوره، برخی خصوصیات خاک اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مرتعی مورد استفاده در کشت قبل از اعمال تیمار نیترات آمونیوم

Table 1- Physical and chemical properties of soil before applying N treatments

Soil Properties	Number of Sampels	Value
(Soil Texture)	36	loam
Bulk Density (g/cm^3)	36	0.69
Moisture (%)	36	52
pH	36	7.7
EC(dS/m)	36	0.3
Total Nitrogen (%)	36	0.47
Phosphorous ($mg\ kg^{-1}$)	36	7.86
Potassium ($mg\ kg^{-1}$)	36	158
Organic Carbon (%)	36	5

روش کار

پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه برای انجام مطالعات آزمایشگاهی، نمونه‌ها در معرض هوای آزاد خشک شدند. درصد رطوبت خاک به روش وزنی، بافت خاک با روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از کلوخه و پارافین، اسیدیته خاک با استفاده از pH متر در گل اشباع و هدایت الکتریکی با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی در عصاره اشباع به‌دست آمد. کربن آلی به روش والکی و بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر قابل جذب با روش اولسن و پتاسیم قابل تبادل (پتاسیمی که به سادگی در دسترس و بر روی سطح ذرات رسی و مواد ارگانیک درون خاک چسبیده‌اند) با روش فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (Kaykhah and Niknahad Gharmakher, 2015). بیوماس میکروبی خاک به روش تنفس ناشی از سوبسترای گلوکز تعیین شد. به این صورت که مقدار CO_2 متصاعد شده از خاک هر تیمار پس از افزودن ۲ میلی‌لیتر سوبسترا (گلوکز) یک درصد محلول به نمونه‌های ۵ گرمی خاک و قرار دادن آنها در انکوباتور ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴ تا ۵ ساعت اندازه‌گیری و بعد بیوماس میکروبی آن برآورد گردید (Anderson *et al.*, 2011). اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک نیز از طریق تیتراسیون محلول هیدروکسید سدیم ۰/۲ نرمال موجود در لوله‌های

کوچک ۲۰ میلی‌لیتری جاگذاری شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در گلدان‌ها کاملاً پوشانده شده (برای ممانعت تبادل هوا با محیط اطراف) و محاسبه مقدار CO_2 آزاد شده از خاک هر تیمار اندازه‌گیری شد (Anderson *et al.*, 2011). طول ریشه نمونه‌ها از یقه تا نوک ریشه با استفاده از خط‌کش میلیمتری اندازه‌گیری شد. سپس وزن خشک آنها با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌های برداشت شده ابتدا با آب مقطر شسته شده و تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

تجزیه‌وتحلیل آماری

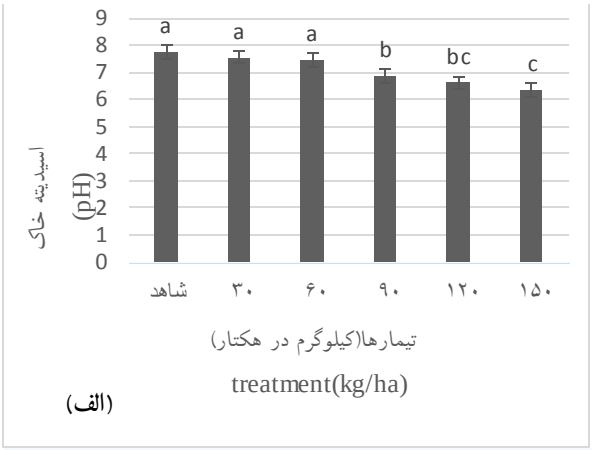
آزمون فرضیه صفر برابر بودن میانگین خصوصیات بیوشیمیایی خاک مرتع مورد مطالعه در تیمارهای مختلف با روش تجزیه واریانس یک‌طرفه و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده گردید. از همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی بین خصوصیات خاک استفاده شد.

نتایج

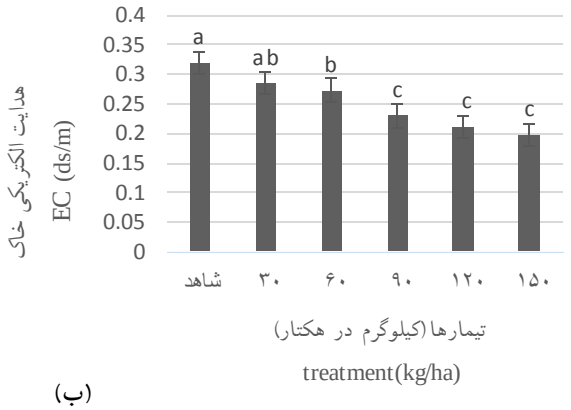
نتایج نشانگر آن است که سطوح مختلف نیترات آمونیوم اثرهای معنی‌داری بر خصوصیات بیوشیمیایی خاک می‌گذارد. به‌طوری‌که با افزایش رسوب نیترات آمونیوم در خاک اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب و پتاسیم تبادلی کاهش و نیتروژن معدنی و کربن خاک افزایش یافتند (شکل ۱). همچنین میانگین اسیدیته تیمارهای دریافت‌کننده ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار به‌طور معنی‌داری کمتر از میانگین سایر تیمارها و شاهد بود ($p<$ ۰/۰۵)، به‌طوری‌که اسیدیته از ۷/۷ در گلدان‌های شاهد به ۶/۴ در گلدان‌های دریافت‌کننده ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار در سال تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش یافت (شکل ۱- الف). اما میانگین اسیدیته تیمارهای دریافت‌کننده ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار در سال با میانگین اسیدیته شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ($p >$ ۰/۰۵). هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای دریافت‌کننده ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار در سال نشان می‌دهد که به‌طور معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) این شاخص کمتر از میانگین هدایت الکتریکی گلدان‌های شاهد است. البته، بین هدایت الکتریکی تیمار ۳۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار با میانگین هدایت الکتریکی گلدان‌های شاهد تفاوت معنی‌داری ($p >$ ۰/۰۵) مشاهده نشد (شکل ۱-ب). کاربرد نیتروژن در خاک نشانگر آن است که نیتروژن کل خاک در تیمارها با افزایش تیمار نیترات آمونیوم افزایش یافته است (شکل ۱-ج) و از ۰/۴۳ درصد نیتروژن کل خاک گلدان‌های شاهد به ۱/۳۲ درصد در خاک گلدان‌های تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است. به‌نحوی‌که بین میانگین نیتروژن کل در تیمارهای مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار و نیترات آمونیوم تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p >$ ۰/۰۵). میانگین تیمارهای سطوح ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار به‌طور معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) بیشتر از تیمار شاهد بود. اثر رسوبات کود نیتروژنی بر فسفر خاک به این صورت بود که تمامی سطوح اعمال شده کودی سبب کاهش معنی‌دار ($p<$ ۰/۰۵) فسفر قابل جذب خاک شد. به‌طوری‌که مقدار آن از ۷/۸۶ppm در خاک گلدان‌های شاهد به ۲/۳۷ppm در خاک گلدان‌های مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار کاهش یافت (شکل ۱-د). فسفر قابل جذب خاک در گلدان‌ها با مصرف ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار بود ($p <$ ۰/۰۵). از تأثیر رسوبات نیتروژنی بر مقدار پتاسیم خاک نتیجه شد که با استثنای مصرف

۳۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم بقیه تیمارها از میزان کمتر پتاسیم تبادلی به‌صورت معنی‌دار نسبت به شاهد برخوردار بودند (شکل ۱-ه). همچنین مشاهده شد که بین تیمارهای ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p > ۰/۰۵$). بیشترین درصد کربن آلی خاک با ۱۳/۲ درصد در خاک گلدان های ۱۵۰ کیلوگرم مصرف کود نیتروزنی و کمترین مقدار آن با ۵ درصد در خاک گلدان‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۱-ی). در صد کربن آلی خاک گلدان‌های مصرف ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم به‌طور معنی‌داری بیشتر از سطوح مصرف پایین‌تر کود و شاهد بود ($p < ۰/۰۵$).

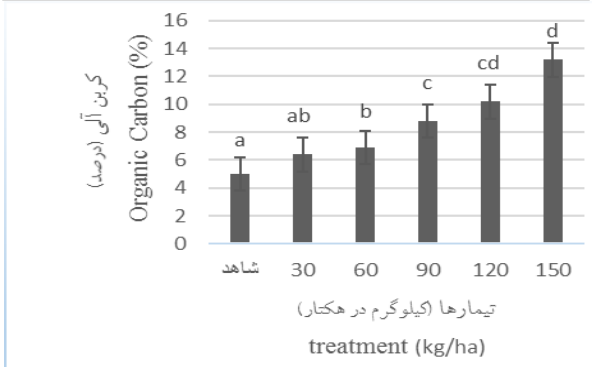
بررسی همبستگی ویژگی‌های شیمیایی خاک (جدول ۲)، بیانگر این است که مقدار نیتروژن کل خاک با تمامی خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک (به استثنای کربن آلی) همبستگی منفی بالایی دارد. نیتروژن کل خاک با کربن آلی همبستگی مثبتی در سطح ۹۸٪ نشان داد.



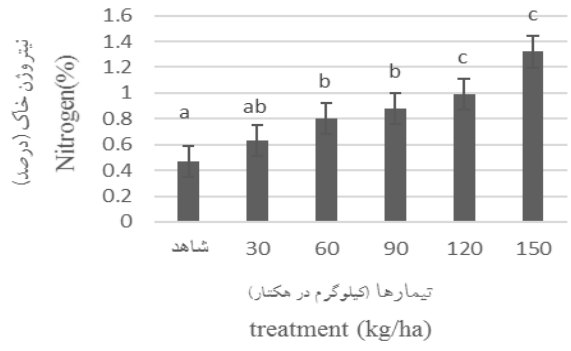
(الف)



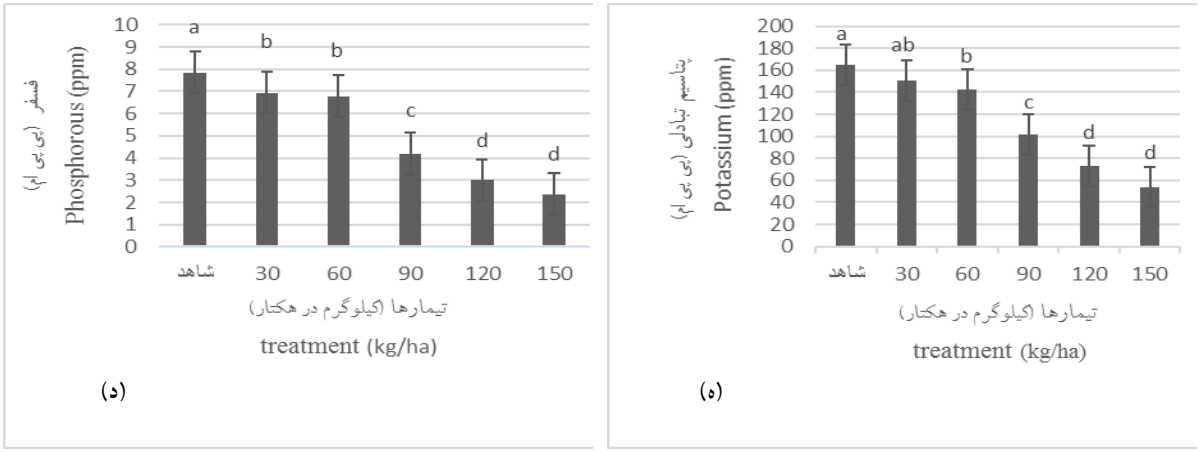
(ب)



(ی)



(ج)



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کود نیترات آمونیوم بر اسیدیته خاک (الف)، هدایت الکتریکی (ب)، نیتروژن کل (ج)، فسفر (د)، کربن آلی (ی) و پتاسیم تبادلی خاک (ه)

Figure 1- The effect of different nitrogen treatments on (pH), (EC), (Phosphorus), (Nitrogen), (Organic Carbon) and (Potassium) of soil

جدول ۲- نتایج همبستگی پیرسون ویژگی‌های شیمیایی خاک

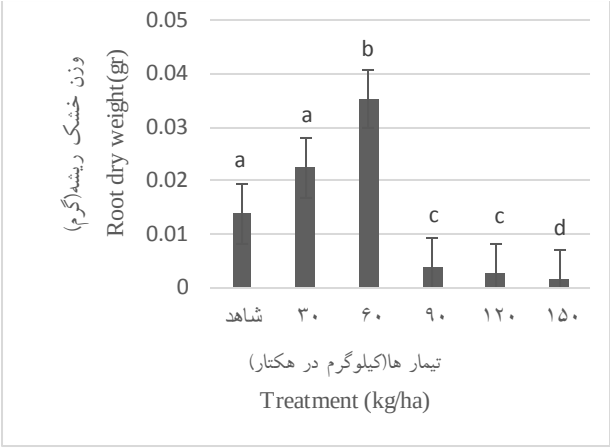
Table2-Pearson correlation results of soil chemical properties

	pH	EC	Total nitrogen	Phosphorous	Potassium
EC	0.95**				
Total nitrogen	-0.96**	-0.94**			
Adsorbable Phosphorous	0.98**	0.96**	-0.94**		
Exchangeable Potassium	0.98**	0.96**	-0.96**	0.94**	
Organic carbon	-0.97**	-0.94**	0.98**	-0.94**	-0.97**

*: 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

نتایج (شکل ۲) نشانگر آن است که وزن ریشه گیاه یونجه با افزایش نیتروژن افزایش یافته است و وزن خشک آن از ۰/۰۱۴ گرم در خاک گلدان‌های شاهد به ۰/۰۳۶ گرم در خاک گلدان‌های تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم رسیده است. میانگین وزن ریشه گلدان‌های تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمار شاهد بود، اما بین آنها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$). بیشترین کاهش وزن ریشه گیاه یونجه مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم بود اما تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت ($p< ۰/۰۵$).

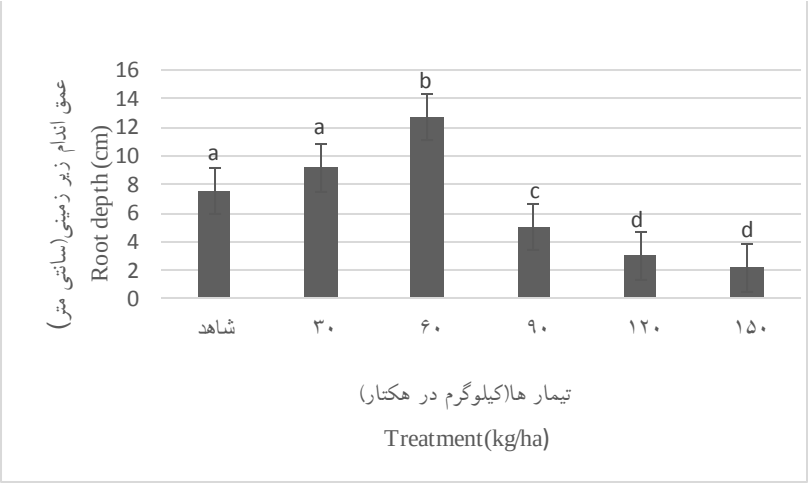


شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف کود نیترات آمونیوم بر وزن خشک ریشه گیاه یونجه

Figure 2- The effect of different nitrogen treatments on root dry weight

نتایج (شکل ۳) نشانگر آن است که عمق اندام زیرزمینی با افزایش نیترات آمونیوم نیز افزایش یافته است و از ۷/۵ سانتی‌متر در گلدان‌های شاهد به ۱۲/۷ سانتی‌متر در گلدان‌های تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم رسیده که با افزایش سطوح کود نیترات آمونیوم عمق نفوذ ریشه‌ها در خاک با کاهش همراه شد. بیشترین کاهش عمق اندام زیرزمینی گیاه یونجه با ۲/۱۷ سانتی‌متر، مربوط به مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم بود که از این نظر با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت ($p< ۰/۰۵$).

نتایج (جدول ۳) بیانگر آن است که در میانگین تنفس و بیوماس میکروبی در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد.



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف کود نیترات آمونیوم بر عمق اندام زیرزمینی گیاه یونجه

Figure 3- The effect of different treatments on root height

جدول ۳- آنالیز واریانس اثرهای سطوح مختلف رسوب نیتروژن بر تنفس میکربی و بیوماس میکربی خاک

Table3-Variance analysis of different levels of nitrogen deposition on microbial respiration and microbial biomass

parameters		Sum of squares	df	F	Sig
Microbial respiration	Between groups	40440.250	5	11836.171	0.00
	Within groups	20.500	30		
	total	40460.750	35		
Microbial biomass	Between groups	59333.806	5	18574.061	0.00
	Within groups	19.167	30		

همچنین با افزایش مصرف کود نیترات آمونیوم در خاک تا سطح ۶۰ کیلوگرم، میانگین تنفس و بیوماس میکروبی افزایش یافت (جدول ۴). اما در سطوح بالاتر مصرف کود نیترات آمونیوم، تنفس و بیوماس میکروبی کاهش یافت و به کمتر از میانگین تنفس و بیوماس گلدان‌های شاهد رسید. بیشترین تنفس و بیوماس میکروبی در گلدان‌های با مصرف ۶۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین سایر تیمارها و شاهد بود ($p < ۰/۰۵$). در گلدان‌های با مصرف ۳۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم اگرچه تنفس و بیوماس میکروبی اندکی افزایش یافت اما با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری قابل مشاهده نبود. با افزایش سطح مصرف نیترات آمونیوم از ۶۰ کیلوگرم به بالا تنفس و بیوماس میکروبی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری با کاهش همراه شد ($p < ۰/۰۵$).

جدول ۴- اثر سطوح مختلف تیمارهای مود نیترات آمونیوم بر تنفس میکربی و بیوماس میکربی خاک

Table 4-The effect of different levels of nitrogen treatments on microbial respiration and microbial biomass

Treatments	Microbial respiration(µg CO_2/kg soil)	Microbial biomass(µg/kg soil)
control	155^{a}	280^{a}
30(kg/ha)	157^{ab}	283^{ab}
60(kg/ha)	165^{b}	291^{b}
90(kg/ha)	113^{c}	230^{c}
120(kg/ha)	92^{d}	210^{d}
150(kg/ha)	81^{e}	184^{e}

بحث

رسوب نیتروژن در تیمارهای کودی به میزان کمتر از ۶۰ کیلوگرم در هکتار در سال به استثنای فسفر قابل جذب، نسبت به تیمار شاهد بر سایر خصوصیات شیمیایی خاک مورد مطالعه هیچگونه اثر معنی‌داری نداشت، ازاین‌رو مقدار فعلی ته‌نشست نیتروژن (۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال) در شمال ایران (Marvi Mohajer, 2007) را می‌توان حد قابل قبول ته‌نشست نیتروژن معدنی در هکتار در سال در مراتع ییلاقی استان گلستان ارزیابی کرد. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) کاهش فسفر قابل جذب خاک را با افزایش نیتروژن معدنی خاک گزارش کرده‌اند. گزارش شده است که افزایش نیتروژن معدنی خاک از طریق اثرگذاری بر مقدار آنزیم فسفاتاز خاک، بر فسفر قابل جذب خاک اثر منفی دارد (Noraei *et al.*, 2021). افزایش رسوب، در تیمار

مصرف نیترات آمونیوم به ۶۰ کیلوگرم در هکتار در سال اگرچه در ابتدا احیاناً به دلیل کاهش نسبت C/N در خاک و رفع کمبود میکروارگانیسم‌های خاک به نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار بیوماس و تنفس میکربی در خاک گردید (Chen *et al.*, 2023) اما پس از اشباع خاک از نیتروژن و آبشویی نیتروژن مازاد بر ظرفیت نگهداشت خاک مورد مطالعه به‌صورت نیترات، سبب کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم تبادلی و هدایت الکتریکی خاک شد که با نتایج پژوهش‌های انجام شده در مناطق مختلف اروپا و شمال آمریکا همراستا می‌باشد (Zhu *et al.*, 2015; Du, 2017; Minocha *et al.*, 2000; Tafazoli *et al.*, 2017). یونجه، گیاهی نمک‌دوست (هالوفیت) نیست، بنابراین کاهش هدایت الکتریکی در خاک گلدانها نشانگر خروج (آبشویی) املاح موجود در خاک همراه با آب زهکشی می‌باشد. Tafazoli و همکاران (2017) بیان کرده‌اند که کاهش میزان پتاسیم تبادلی خاک نشان‌دهنده اشباع نیتروژن و به‌دنبال آن خارج شدن نیتروژن اضافی همراه با پتاسیم طی فرایند آبشویی است. آبشویی نیتروژن غیر آلی به‌ویژه نیترات می‌تواند آبشویی کاتیون‌های قلیایی مانند پتاسیم را به دنبال داشته باشد (Minocha *et al.*, 2000). رسوب مقادیر بالای نیتروژن اتمسفری سبب افزایش فرایندهای تولید H^+ می‌شود که ادامه این روند منجر به کاهش اسیدیته خاک و افزایش آبشویی نیترات و کاتیون‌های پایه‌ای مانند پتاسیم می‌شود (Gundersen & Rasmussen., 1990). با افزایش سطح رسوب مصرف نیترات آمونیوم به ۹۰ کیلوگرم در هکتار و بیشتر از آن، اسیدیته خاک نیز دچار کاهش معنی‌داری شد که این موضوع منجر به کاهش شدید بیوماس میکربی و پیامد آن، تنفس میکربی در خاک مورد مطالعه گردید (Eisenhofer *et al.*, 2019). در تحقیقات انجام شده رسوب نیتروژن در ابتدا موجب افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان شد، باوجوداین، آستانه غلظتی وجود دارد که فراتر از آن رسوب نیتروژن منجر به آسیب به رشد اندام‌های گیاهان می‌شود (Vasquez, *et al.*, 2009). در این تحقیق، رسوب نیترات آمونیوم تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار موجب رشد بهتر ریشه‌های یونجه و عملکرد آن شد (شکل ۴). رشد ریشه و تعداد گره‌ها و ماده خشک ریشه در تیمارهای مختلف در سطوح کم نیتروژن نسبت به شاهد بدون نیتروژن، افزایش معنی‌داری داشت. در حالی که با بالا رفتن سطح نیتروژن کاهش رشد در ریشه مشاهده گردید. افزایش رشد ریشه ارقام یونجه‌ها نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن معدنی خاک می‌تواند قدرت گره‌زایی یونجه را کنترل کند (Fajiri, 2001). البته با افزایش مقدار رسوب نیتروژن عملکرد بوته‌ها و بهره‌وری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت اما با افزایش مقدار رسوب نیتروژن به صورت کود به بالاترین سطح همراه با اسیدی شدن خاک، کاهش عملکرد قابل مشاهده بود (Guan, *et al.*, 2019). مقایسه تنفس و بایوماس میکروبی در سطوح مختلف تیمارها نشان داد که با افزایش فاکتورهای رشد گیاه تا سطح تیمار ۶۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار، تنفس و بایوماس میکروبی نیز افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که منطقه ریشه شرایط مناسب و بهینه را برای فعالیت باکتری‌ها فراهم کرده باشد. مطالعات گذشته نیز تأثیر ریشه گیاه را در افزایش فعالیت‌های میکروبی در خاک تأیید کرده است (Anderson *et al.*, 1993; Gunther *et al.*, 1996). از آنجا که آمونیم طی فرایند نیتراتی شدن باعث افزایش یون هیدروژن می‌شود، کاهش pH خاک با افزایش سطح ته‌نشست نیتروژن معدنی بر خاک می‌تواند ناشی از افزایش مقدار آمونیم موجود در خاک باشد (Mao *et al.*, 2018). افزایش نیتروژن معدنی خاک پیامد ته‌نشست مقادیر بالای نیتروژن اتمسفری، فرایندهای تولید H^+ از قبیل نیتریفیکاسیون را افزایش می‌دهد، در حالی که مقدار جذب گیاهی نیترات و فرایندهای مصرف H^+ محدود می‌باشد. ادامه این روند منجر به کاهش pHخاک و افزایش شستشوی نیترات و کاتیون‌های پایه می‌شود (Gundersen & Rasmussen., 1990). افزایش فعالیت باکتری‌ها در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار نشان می‌دهد که بهتر شدن رشد ریشه در این دو سطح تیمار محیط مناسبی را به نسبت گلدان‌های شاهد مهیا کرده است.

(ج) (ب) (الف)

شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف کود نیترات آمونیوم بر عملکرد گلدان‌های یونجه شاهد (الف)، گلدان با تیمار ۶۰ کیلوگرم کود در هکتار (ب) و گلدان با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود در هکتار (ج)

Figure 4- The effect of different nitrogen treatments on Medicago sativa

با توجه به افزایش فعالیت‌های انسانی در سالهای اخیر از قبیل صنایع مختلف، کاربرد سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی و اهمیت رسوب نیتروژن اتمسفری و تأثیرگذاری آن بر چرخه عناصر غذایی خاک به منظور کاهش اثرهای منفی ناشی از تەنشست نیتروژن و کنترل تغییرات در فاکتورهای بیوشیمیایی خاک، پیشنهاد می‌شود در طرح‌های احیایی مراتع از گیاه یونجه استفاده شود. این گیاه به دلیل توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری می‌تواند در پروژه‌های اصلاح مراتع نقش مهم و کلیدی را ایفا کند.

منابع مورد استفاده

Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A. and Sherlock, R.R., 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. Pedobiologia, 54: 309– 320. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.005

Arrekhi, A., Niknahad Gharmakher, H., Bachinger, J., Bloch, R., Hufnagel, J., 2021. Forage Quality of Salsola turcomanica (Litv) in Semi-arid Region of Gomishan, Golestan Province, Iran. Journal of Rangeland Science, 11(1): 76-88. (In Persian)

Chen, Y. L., Xu, Z. W., Xu, T. L., Veresoglou, S. D., Yang, G. W. and Chen, B. D., 2017. Nitrogen deposition and precipitation induced phylogenetic clustering of arbuscular mycorrhizal fungal communities. Journal of Soil Biology and Biochemistry. 115: 233–242. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.08.024

Chen, ch., Xinli, ch. and Han, Y.H., 2023. Mapping N deposition impacts on soil microbial biomass across global terrestrial ecosystems. Geoderma. 433: 116429. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116429

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. Journal of Atmospheric Environment. 37: 2173–2191. https://doi.org/10.1016/s1352-2310(03)00133-x

Cunningham S.D., Anderson., T.A., Schwab, A.P. and C Hsu, F., 1996. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Adv Agron. 56:56– 114. https://doi.org/10.1016/s0065-2113(08)60179-0

De Vries, W. and Schulte-Uebbing, L., 2019. Atlas of Ecosystem Services. Springer, 189p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0_29

Du, E., 2017. Integrating species composition and leaf nitrogen content to indicate effects of nitrogen deposition. Journal of Environmental Pollution. 221: 392-397. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.001

Eisenhofer, R., Minich, J. J., Marotz, C., Cooper, A., Knight, R. and Weyrich, L. S., 2019. Contamination in low microbial biomass microbiome studies: issues and recommendations. Journal of Trends Microbial, 27: 105–117. https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.11.003

Contamination and Toxicology. Springer, pp. 1–45. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3366-4_1

Jamieson, M.A., Quintero, C. and Blumenthal, D.M., 2013. Interactive effects of simulated nitrogen deposition and altered precipitation patterns on plant allelochemical concentrations. Journal of chemical ecology, 39(9): 1204-1208. https://doi.org/10.1007/s10886-013-0340-x

Kaykhah,E. and Niknahad Gharmakher, H., 2015. Impact of an alternative system on some soil properties as compared with forest and cropland systems. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2):127-142 (in Persian).

Liu, J., Wu, N., Wang, H., Sun, J., Peng, B., Jiang, P. and Bai, E., 2016. Nitrogen addition affects chemical compositions of plant tissues, litter and soil organic matter. Journal of Ecology, 97(7): 1796-1806. https://doi.org/10.1890/15-1683.1

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. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.03.033

Marvie Mohajer, M.R., 2007. Silviculture. Tehran University Press, 387p (In Persian).

Mao, Q., Lu, X., Mo, H., Gundersen, P. and Mo, J., 2018. Effects of simulated N deposition on foliar nutrient status, N metabolism and photosynthetic capacity of three dominant understory plant species in a mature tropical forest. Science of the Total Environment, 610: 555-562. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.087

Minocha, R., Long, S., Magill, A. H., Aber, J. and McDowell, W. H., 2000. Foliar free polyamine and inorganic ion contentin relation to soil and soil solution chemistry in two fertilized stands at the Harvard Forest, Massachusetts. Journal of Plant and Soil. 222: 119–137. https://doi.org/10.1023/a:1004775829678

Noiraei, As., jalilvan, H., hojjati, M. and alavi, S.A., 2021.Simulation of Nitrogen Deposition (Nitrogen Addition Experiments) Impact on Soil Properties in Pine Radiata Stand. Ecology of Iranian Foressts, 9(17): 75-85.(in Persian). https://doi.org/10.52547/ifej.9.17.75

Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Nasholm, T. and Ericson, L., 2005. Nitrogen deposition and the biodiversity ofboreal forests, Implications for the nitrogen critical load. AMBIO: A Journal of the Human Environment. 34: 20–24. https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.1.20

Quinn Thomas, R., Canham, C. D., Weathers, K. C., Erisman, J. W. and Draaijers, G., 2003. Deposition to forests in Europe, most important factors influencing dry depositionandmodels used for generalisation. Environmental Pollution. 124: 379–388. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(03)00049-6

Fajri, A, 2001. Effects of inoculation and different amount of nitrogen on the growth and nodulation of alfalfa (Medicago sative L.) cultivars. Journal of Agriculture science. Vol. 32: No.2, 2001.

Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M. A., Cape, J. N. and Reis, S., 2013. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. Journal of Biological Sciences, 368(1621): 130-165. https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164

Gallagher, M., Fontan, J., Wyers, P., Ruijgrok, W., Duyzer, J. and Hummelshøj, P., 1997. Biosphere-Atmosphere Exchange of Pollutants and Trace Substances. Springer, 199p. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03394-4_3

Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P. and Sutton, M.A., 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. Journal of Science, 320(5878): 889-892. https://doi.org/10.1126/science.1136674

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. https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0

Gomez-Casanovas, N., Hudiburg, T. W., Bernacchi, C. J., Parton, W. J. and DeLucia, E. H., 2016. Nitrogen deposition and greenhouse gas emissions from grasslands: uncertainties and future directions. Global Change Biology, 22: 1348–1360. https://doi.org/10.1111/gcb.13187

Guan, Bo., Xie, B., Yang, Sh., Hou, A., Chen, M. and Han, G., 2019. Effects of five years' nitrogen deposition on soil properties and plant growth in a salinized reed wetland of the Yellow River Delta. Ecological Engineering, 136: 160-166. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.06.016

Gunther, T., Dornberger, U., and Fritsche, W., 1996. Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil. Chemosphere, 33: 203- 215. https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00164-6

Gundersen, P. and Rasmussen, L., 1990. Nitrification in Forest Soils: Effects from Nitrogen Deposition on Soil Acidification and Aluminum Release. In: Ware, G.W. (Ed.), Reviews of Environmental

and Goodale, C. L., 2010. Increased tree carbon storage in response to nitrogen deposition in the US. Journal of Nature Geoscience. 3: 13–17. doi: 10.1038/ngeo721

Tafazoli, M., jalilvand, H., hojati, M. and Lameresdorf, M., 2017. The effects of simulated nitrogen deposition on soil chemical properties in maple plantation stand. Journal of Environmental Sciences, 15(2): 39-54 (In Persian). https://doi.org/10.1007/s42729-019-00048-5

Xuan, W., Ting, W.X., Zhu, L.C. and Mei, N.Y., 2018. Nitrogen deposition changes the distribution of key plant species in the meadow steppe in Hulunbeier, China. The Rangeland Journal, 40(2): 129-142. https://doi.org/10.1071/rj16075

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. https://doi.org/10.1007/s40333-013-0241-4

Zhou, S., Xue, K., Zhang, B., Tang, L., Pang, Z. and Wang, F., 2021. Spatial patterns of microbial nitrogen-cycling gene abundances along a precipitation gradient in various temperate grasslands at a regional scale. Journal of Geotherma, 404:115236. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115236

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. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.04.004