نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۴/۱ صفحه‌های ۲۱۱ تا ۲۲۲/ سال ۱۳۹۴

# کارآیی کهور پاکستانی و کرت به عنوان درختان فراهم‌کننده نیتروژن بر خصوصیات خاک زیراشکوب آنها

**سید حمید متین خواه*[۱]، عاطفه شهبازی[۲] ، مرضیه نعیمی نیا[۳]**

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۰۴

[۱*]- استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

[۲]- دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

[۳]- دانش آموخته مرتعداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Matinkhah@cc.iut.ac.ir

**چکیده**

درختان در مناطق خشک و نیمه‌خشک تاثیر عمیقی بر توزیع منابع خاک و فرآیندهای زیست شیمی داشته و مواد آلی در خاک زیر پوشش تاج درختان نسبت به خاک خارج از پوشش تاج آنها بیشتر هستند. این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه تاثیر درختان کهور پاکستانی و کرت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت گرفت. برای انجام این مطالعه خاک متاثر از تاج پوشش این درختان و خاک شاهد در سه عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی متری خاک در قالب طرح آزمایشی بلوک های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار نمونه برداری وتجزیه شد. در این مطالعه پارامترهای نیتروژن معدنی، نیتروژن آلی محلول، پتانسیل معدنی شدن نیتروژن، نیتروژن کل، درصد کربن آلی، آهک، EC، pH و بافت خاک اندازه‌گیری شد. همچنین تحلیل گیاه محک (گیاه شاهی *Lepidium sativum*) به لحاظ بررسی اثربخشی درختان کهور پاکستانی و کرت در مقدار جذب نیتروژن انجام گرفت. در تمامی پارامترهای مورد مطالعه اختلاف قابل توجه‌ای میان تیمارهای کرت و کهور پاکستانی نسبت به تیمار شاهد وجود داشته است که نشان‌گر توانایی بسیار بالا و تاثیر مثبت این درختان بر خصوصیات خاک نسبت به عرصه فاقد این گونه درختان بوده است. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که خاک تحت تاج پوشش این درختان باعث افزایش نیتروژن آلی محلول، پتانسیل معدنی شدن نیتروژن، درصد کربن آلی و نیتروژن کل در گیاه محک نسبت به حالت شاهد شده است در حالی‌که درخت کرت به طور ویژه‌ای نیتروژن معدنی و کهور پاکستانی نیتروژن کل خاک را خصوصاً در افق‌های سطحی افزایش می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی**: اثر تاج پوشش، درختان تثبیت‌کننده نیتروژن، کرت، کهور پاکستانی

# The Effects of *Acacia nilotica* and *Prosopis juliflora* as the Nitrogen Provider Trees on the Understory Soil of Them

**S Matinkhah[1*], A Shahbazi[2], M Naiminia[3]**

Received: 27 June 2015 Accepted: 24 April 2015
[1-] Assist. Prof., Faculty of Natural Resources, Isfahan Univ. of Technology, Iran
[2-] Ph.D Student of Rangland Science, Faculty of Natural resources, Isfahan Univ. of Technology, Iran
[3-] M.Sc Graduate, Faculty of Natural Resources, Isfahan Univ. of Technology, Iran
[*]Correspoding Author, Email: matinkhah@cc.iut.ac.ir

**Abstract**

Trees have noticeable effects on soil resources distribution and its biochemical processes in arid and semiarid regions. Organic materials are naturally much more in the understory soil than that in the open areas soil. This study tries to reveal and compare the effects of *Acacia nilotica* and *Prosopis juliflora* trees on the physical and chemical properties of the soil. To achieve the goals, the understory soil of *A. nilotica*, *P. juliflora* and the control soil at three depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm with three replications, were sampled and analyzed based on the complete randomized block experiment with three replications. The studied parameters including; mineral nitrogen, dissolved organic nitrogen, nitrogen mineralization potential, total nitrogen, organic carbon percentage, lime, EC, pH and soil texture were measured. Likewise, analysis of the criterion plant (*Lepidium sativum*) was performed to determine the efficiency of *Acacia nilotica* and *Prosopis juliflora* trees on the amount of nitrogen absorption. Nearly, in all the studied parameters the two mentioned trees had a significantly different effect on the soil with respect to the control soil. Hence the result confirmed the high potential and positive effects of these nitrogen-fixing trees (NFTs) on the soil quality as compared to the site without these trees. The results of this study also indicated that the both of these trees had increased the amount of soluble organic nitrogen, nitrogen mineralization potential, soil organic carbon content and total nitrogen in the studied plants compared to the control. Meanwhile, in the superficial soil, *A. nilotica* and *P. juliflora* remarkably increased the mineral nitrogen and total nitrogen, respectively.

**Keywords:** *Acacia nilotica,* Canopy effects, Nitrogen fixing trees, *Prosopis juliflora*

**مقدمه**

در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر کمبود آب و پایین بودن سطح کربن آلی خاک کمبود نیتروژن یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان به‌شمار می‌رود. از آنجایی که حدود ۹۵ درصد نیتروژن خاک به صورت آلی و تنها ۵ درصد آن به صورت نیتروژن معدنی قابل جذب در طول فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد لذا تبدیل نیتروژن آلی موجود در خاک به شکل معدنی اهمیت زیادی دارد (بینکلی و گیاردینا ۱۹۹۷). از طرفی علاوه بر مضرات شناخته شده‌ی کودهای شیمیایی استفاده از آنها از نظر اقتصادی نیز توجیهی ندارد، لذا استفاده از کودهای نیتروژنی طبیعی توجه دست‌اندرکاران امر احیای مناطق جنگلی و مرتعی آسیب دیده را به خود جلب کرده است. تثبیت بیولوژیکی نیتروژن سطح وسیعی از تحقیقات کشاورزی را در چند دهه اخیر به خود اختصاص داده

است. کشت درختان تثبیت کننده‌ی نیتروژن در مناطقی که شرایط خاص رویشگاهی آنها را داشته باشد، با توجه به چند منظوره بودن این درختان، علاوه بر برطرف کردن نیازهای بومیان ساکن در منطقه از لحاظ چوب، الوار، موادغذایی، بادشکن، سایه برای محصولات سایه‌پسند و بسیاری منافع دیگر، میزان قابل توجهی نیتروژن رایگان را در سطوح قابل دسترس خاک ذخیره می‌نماید که خود موجب توسعه‌ی پایدار در منطقه خواهد شد (دهنوی و همکاران ۱۳۹۲). درختان تثبیت‌کننده نیتروژن با ذخیره نیتروژن و مواد آلی، همچنین سبب بهبود شرایط رشد برای اجزای غیر تثبیت‌کننده نیتروژن شامل محصولات یکساله، محصولات چندساله و حیوانات می‌شوند (دونالد ۱۹۹۷).

به منظور بررسی تأثیرات حضور درختان تثبیت‌کننده نیتروژن، مطالعات بسیاری انجام گرفته که مبیّن همین مطلب می‌باشند. بوجاوید و تیمر (۱۹۹۶) اظهار داشتند کهور پاکستانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بوسیله کاهش pH، هدایت الکتریکی و میزان تبادلات سدیم و توسط افزایش ظرفیت نفوذ، کربن آلی و نیتروژن کل، فسفر و کلسیم قابل تبادل، منیزیم و میزان پتاسیم بهبود می‌بخشد. سونکار و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی کارایی رشد ۹ گونه درختی تثبیت کننده نیتروژن در خاک تخریب شده و مقایسه نیتروژن غنی شده در خاک بوسیله این گونه‌ها پرداختند. نتایج آنها نشان داد که درخت کرت گونه‌ای بسیار مفید در احیای خاک‌های تخریب یافته بوده است. همچنین بیشترین مقدار نیتروژن انباشته شده در *Acacia procera* و به دنبال آن کرت بوده است که همبستگی بسیار زیاد و مثبتی میان نیتروژن انباشته شده و وزن غده‌ها وجود داشته است. دیوید و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که کشت آمیخته گونه‌های شامل اکالیپتوس و گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث بهبود در چرخه مواد مغذی، حاصلخیزی خاک، تولید توده زنده، افزایش سرعت تجزیه مواد، تولید محصولات فرعی و جلوگیری از آفات و بیماری‌ها شده است.

دالال و همکاران (۲۰۰۸) تغییرات نیتروژن خاک را پس از میان رفتن پوشش گیاهی درختان *Acacia aneura (mulga)* در استرالیا بررسی نمودند، آنها مشاهده کردند که پس از تبدیل پایه‌های درختی تثبیت‌کننده نیتروژن (*mulga*) به چراگاه فاقد گیاهان تثبیت کننده نیتروژن میزان نیتروژن معدنی به طور چشمگیری کاهش یافته بود. سینگ و شارما (۲۰۱۰) در مقایسه بین گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به لحاظ میزان نیتروژن موجود در اجزای آنها بیان کردند که میزان نیتروژن در ساقه درخت کهور پاکستانی و کرت به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۵۳ درصد، در شاخه و برگ آنها به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۶۲ درصد، در برگ‌ها به ترتیب ۲/۶۸ و ۱/۶۸ درصد و در لاشبرگ آنها به ترتیب ۱/۷ و ۱/۱۴ درصد بوده است. همچنین غلظت مواد مغذی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) در برگ کهور پاکستانی بیشترین مقدار بوده است.

دهنوی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی اثر داغداغان به عنوان درخت تثبیت‌کننده نیتروژن بر خاک تحت اشکوب پرداختند و نتیجه گرفتند که در بیشتر موارد مقادیر پارامترهای اساسی و تأثیرگذار بر رشد گیاه در خاک تحت اشکوب بیشتر از خاک شاهد بوده است که نشاندهنده تأثیر فوق‌العاده درخت تثبیت‌کننده نیتروژن بر حاصلخیزی خاک می‌باشد.

کرت (*Acacia nilotica*) درختی است متوسط که ابعاد آن بسته به شرایط، تغییر می‌پذیرد. گاهی بصورت درختچه‌ای و در برخی نقاط نیز تا بلندی ۱۸ متر می‌رسد. در خاک‌های خشک، رشد ریشه‌های اصلی و سطحی قابل ملاحظه است، لیکن در زمین‌های کم‌عمق که ریشه اصلی به عمق زیادتری فرو نمی‌رود ممکن است درخت در اثر خشکی بمیرد یا در خاک‌های آبگیر ریشه‌ها سطحی مانده و در نتیجه به‌سهولت در اثر باد ریشه‌کن شوند. با آنکه این درخت به خشکی مقاوم و معرف مناطق خشک است اما در شرایط خیلی خشک باید آن را آبیاری نمود تا بخوبی رشد و نمو کند (جزیره ای ۱۳۸۱). کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) درختی است دیرزی و میانه که به بلندی تا ۱۵ متر و قطر تا ۴۵ سانتی‌متر می‌رسد. جنگلکاری با این گونه در

خاک‌های شور، ناتوان و سنگلاخی با موفقیت انجام می‌شود و در شرایط خشکی طولانی و شدید، در حالی که برگ بسیاری از گونه‌ها خزان می‌شود این درخت همچنان برگ‌های خود را حفظ می‌نمایند. به طور خلاصه، این گونه در ماسه‌های روان، تپه‌های شنی ساحلی، خاک‌های فرسایش یافته، بستر رودخانه‌ها، خاک‌های شور، مراتع خشک، زمین‌های بایر مناطق کم باران می‌روید و یخبندان‌های معتدل را تحمل می‌کند (جزیره ای ۱۳۸۱).

گونه‌های کرت و کهور پاکستانی درختانی هستند که اساساً در مناطق خشک و نیمه‌خشک گرمسیری یا حاره‌ایی و نیمه حاره‌ایی رشد می‌کنند (پاندی وهمکاران ۱۹۹۹، پوری و همکاران ۱۹۹۴). این درختان به دلیل توانایی تثبیت نیتروژن، مقاومت به خشکی و چند منظوره بودن (علوفه، چوب، سوخت و غذا)، برای احیای مناطق تخریب شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک گرمسیری مناسب بوده‌اند (چاپیل و ماسلین ۱۹۹۵). درختان به دو طریق موجب افزایش نیتروژن در خاک سطحی پیرامون خود می‌شوند و نقش پرستار[1] را برای گیاهان همراه خود خواهند داشت (زاو و همکاران ۲۰۰۷). یکی از طریق تثبیت نیتروژن بواسطه همزیستی با قارچ‌ها و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا و دیگر از طریق پمپاژ عناصر غذایی از اعماق به خاک سطحی به‌واسطه ریشه‌های گسترده و عمیق (میلارد و گریلت ۲۰۱۰). در مجموع این درختان موجب فراهم‌آوری نیتروژن برای گیاهان پیرامون خود خواهند شد که هدف اصلی این مقاله بررسی میزان فراهم‌آوری نیتروژن توسط گونه‌های کرت و کهور می‌باشد.

کشت گونه‌های درختی، درختچه‌ای و مرتعی تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن موجود در کشور و معرفی آنها به مناطق مناسب رویشگاهی تا حد بسیار زیادی در بهبود شرایط مراتع و جنگلها مثمر ثمر واقع خواهد شد. گونه‌های کرت و کهور پاکستانی از جمله گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در استان خوزستان به‌شمار می‌روند که تاثیرشان بر روی خصوصیات خاک زیر کشت آنها در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

پس از بررسی‌های مقدماتی در قسمت‌های مختلف استان خوزستان، روستای شلحه امام حسن عسگری واقع در دهستان اروند در شهرستان آبادان به عنوان منطقه مورد مطالعه که دارای پوشش طبیعی و گسترده‌ی این گونه درختان می‌باشد انتخاب شد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۴ هکتار می‌باشد که از لحاظ جغرافیایی در حد فاصل۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی تا ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه طولی شرقی قرار دارد. مساحت پوشش جنگل ۳/۱ هکتار می‌باشد. ارتفاع متوسط از سطح دریا ۳متر است. این روستا دارای پوشش طبیعی و انبوه درختان کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) و کرت (*Acacia nilotica*) بوده است. از این رو دو گونه‌ی فوق به عنوان گونه‌های درختی تثبیت‌کننده نیتروژن در این مطالعه انتخاب شده‌اند.

این منطقه در تقسیم‌بندی‌های اقلیمی دومارتن در اقلیم خشک با دوره گرمایی ۸ تا ۹ ماه در سال قرار دارد. میانگین دمای روزانه بین ۱۲/۵ درجه سلسیوس در دی ماه و ۳۶/۴ درجه سلسیوس در تیرماه بوده و بیشینه دما بیش از ۵۰ درجه سلسیوس در تیرماه و مرداد ماه می‌باشد. میزان متوسط بارندگی سالانه ۱۶۲ میلی‌متر است که بیش از نیمی از آن در فصل زمستان می‌بارد. همچنین متوسط رطوبت نسبی سالیانه ۴۶ درصد گزارش شده است.

### نمونه‌برداری از خاک

جهت بررسی تاثیر درختان کهور پاکستانی و کرت بر روی ویژگی‌های خاک و مقایسه آن با نمونه خاک شاهد، نمونه‌های خاک در سه پروفیل از خاک تحت تسلط تاج پوشش درختان کهور پاکستانی، کرت و نمونه خاک شاهد (بدون حضور درختان) در سه عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر در قالب طرح

[1] Pioneer

بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار برداشت شد. نمونه خاک شاهد: این نمونه خاک از مکانی که در آن هیچ گونه پوشش گیاهی وجود نداشت، تهیه گردید. در راستای بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک منطقه، ابتدا بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتر تعیین گردید و سپس فاکتورهای EC توسط دستگاه هدایت سنج اهم متر، pH به وسیله pH متر و درصد آهک به روش تیتراسیون با سود (NaOH) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (ویور و همکاران ۱۹۹۴). به منظور تعیین کارآیی تثبیت نیتروژن پارامترهایی از قبیل نیتروژن معدنی، نیتروژن آلی محلول، پتانسیل معدنی شدن نیتروژن، نیتروژن کل خاک و درصد کربن آلی اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری نیتروژن معدنی قابل عصاره‌گیری با KCL با استفاده از روش ارائه شده به وسیله کینی و نلسون (۲۰۰۰) مقادیر نیتروژن معدنی اولیه موجود در نمونه‌های خاک هوا خشک، عصاره‌گیری و سپس اندازه‌گیری شد.

مقدار نیتروژن آلی محلول ($SON^{۲}$) با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$SON = TSN - SMN \qquad [۱]$$

که در آن $TSN^{۳}$، SON و $SMN^{۴}$ به ترتیب شامل کل نیتروژن محلول خاک، نیتروژن آلی محلول و نیتروژن معدنی محلول خاک است.

شدت معدنی شدن خالص نیتروژن با استفاده از روش انکوباسیون-عصاره‌گیری اندازه‌گیری شد (کلکسوا و مورتازینا ۱۹۷۸، ترینسوترت و همکاران ۲۰۰۰). در این روش نمونه‌های ۱۰۰ گرمی از خاک هوا خشک شده به ظروف پلی‌اتیلن منتقل و رطوبت آنها در ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت و در دمای (±۱) ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۸ هفته نگهداری گردید. در طول مدت نگهداری، هر ۲ روز یک بار پس از باز نمودن درب ظروف پلی‌اتیلنی، محتوی نمونه‌های مرطوب توزین و معادل وزن کاسته شده به آنها آب مقطر افزوده شد. پس از پایان نگهداری (۸ هفته)، غلظت نهایی نیتروژن معدنی (آمونیوم + نیترات) اندازه‌گیری شد و با استفاده از معادله ۲ معدنی شدن خالص نیتروژن بر مبنای وزن خشک شده در آون محاسبه گردید.

$$\text{شدت معدنی شدن خالص نیتروژن} = \frac{\left(NO_3^- + NH_4^+\right)_{\text{نهایی}} - \left(NO_3^- + NH_4^+\right)_{\text{اولیه}}}{\text{زمان نگهداری (هفته)}} \quad (mg\ N\ kg^{-1}\ soil\ W^{-1}) \qquad [۲]$$

اندازه‌گیری نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال (اکسیداسیون تر) انجام شد (کلینس و همکاران ۱۹۹۲). در این روش به یک گرم خاک از هر یک از نمونه‌های خاک، ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه گردید و به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و در مجاورت کاتالیزور (سولفات مس، پتاسیم و سلنیم) عمل هضم انجام شد. پس از آن غلظت نیتروژن با استفاده از دستگاه اتوکلتک به روش کلدال اندازه‌گیری شد.

کربن آلی به روش واکلی- بلک اندازه‌گیری شد. در این روش مواد آلی خاک به وسیله اکسایش با دی کرومات پتاسیم و در مجاورت اسید سولفوریک اکسیده شده و باقی مانده دی کرومات پتاسیم با افزایش فروآمونیوم سولفات از طریق تیتراسیون در مجاورت معرف ارتوفنانترولین اندازه‌گیری شده و با محاسبه مقدار دی کرومات پتاسیم مصرف شده برای اکسیداسیون کربن آلی، مقدار کربن آلی خاک محاسبه شد (نلسون و لی ۱۹۹۶).

پس از انجام آزمایشات مربوط به خاک، به منظور بررسی آزمایشگاهی میزان انتقال نیتروژن از این درختان به گیاهان همراه آنها، گیاه "شاهی یا ترتیزک" با نام علمی "*Lepidium sativum*" که دارای رشد سریع می‌باشد به عنوان گیاه محک انتخاب و در گلخانه بر روی خاک برداشت شده از تحت اشکوب درختان مورد مطالعه و خاک شاهد کاشته شد. در مطالعه حاضر، نمونه‌های خاک برداشت شده از زیراشکوب دو گونه و نمونه‌های خاک شاهد برداشت شده از دو منطقه مذکور و از سه عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰، به مدت یک ماه به منظور خشک شدن در هوای

[2] Soluble Organic Nitrogen
[3] Total Soluble Nitrogen
[4] Soil Mineral Nitrogen

باز قرار داده شد و سپس به منظور یکسان‌سازی ساختمان و شرایط خاک برای کشت، نمونه‌های خاک کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و در گلدان‌هایی در گلخانه برای کشت گیاه محک قرار گرفت. در نهایت به منظور برآورد میزان نیتروژن انتقال یافته و میزان تأثیر آن بر تولید گیاه مورد نظر در مقایسه با گیاه محک کشت شده بر خاک شاهد، درصد پروتئین موجود در گیاه محک تعیین و سپس میزان تولید گیاه محک از طریق رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$DM = \frac{WD}{WL} * 100 \qquad [۳]$$

$DM$: درصد ماده خشک گونه‌ی گیاهی، $WD$: وزن خشک گونه $(g)$ ، $WL$: وزن تر گونه $(g)$ می باشد.

اعداد و ارقام حاصل از مراحل مختلف آزمایشات، در نرم افزار SPSS وارد و از طریق طرح آزمایشی بلوک کاملا تصادفی (تعداد تیمار، بلوک و تکرار۳ عدد) با به کارگیری آزمون دانکن، در سطح معنی‌داری پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

تمام نمونه‌های خاک مورد مطالعه جزء خاک‌های رسی و ریز بافت محسوب می‌شوند. کلاس بافت خاک در تیمار کرت در هر سه عمق مورد مطالعه رس سیلتی بوده است. در حالی کلاس بافت خاک در تیمار کهور پاکستانی در عمق ۰-۲۰ سانتی متری لوم رس سیلتی بوده است و در سایر عمق‌ها رس سیلتی مشاهده شده است. همچنین کلاس بافت خاک در نمونه خاک شاهد درعمق ۰-۲۰ سانتی متری لوم سیلتی مشاهده شده در صورتی که در سایر عمق‌ها کلاس بافت خاک رس سیلتی بوده است.

بررسی تأثیر حضور و عدم حضور پوشش گیاهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نشان داد که تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده تحت تاثیر نوع پوشش گیاهی قرار داشتند. در بررسی تاثیر افزایش عمق بر میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۰/۰۱ بین درصد آهک و pH با عمق مشاهده شد (جدول ۱).

**جدول۱ - تجزیه آماری تاثیر تیمارهای نوع پوشش گیاهی و عمق بر ویژگی‌های مورد مطالعه.**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | pH | EC ($dS\ m^{-1}$) | آهک(%) |
|---|---|---|---|---|
| تیمار(نوع پوشش گیاهی) | ۲ | ۰/۶۲** | ۱۷/۷۶** | ۱۲/۵۸* |
| بلوک | ۲ | ۰/۰۱۹** | ۳/۰۸ ns | ۴۹/۰۹** |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۰ | ۰/۹۸ | ۳/۵۹ |
| ضریب تغییرات | – | ۰/۳ | ۱۷/۱۲ | ۴/۴۳ |

ns، *و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

مقدار آهک از ۴۲/۵۲ درصد در تیمار کرت تا ۴۰/۲۲ درصد در تیمار شاهد تغییر می‌کند ولی بیشترین مقدار pH وEC در خاک شاهد مشاهده شده است (جدول۲) تغییر pH و شوری خاک در ناحیه ریزوسفر ریشه نسبت به منطقه بدون پوشش گیاهی تحت تاثیر حضور گیاه است که شرایط را به طور کلی در ناحیه تحت اشکوب بهبود می‌بخشد و اگرچه در اینجا شوری کاهش یافته است بالعکس در برخی گیاهان دفع‌کننده نمک مانند گز افزایش شوری در خاک تحت اشکوب نیز ممکن است دیده شود (لسیکا و دلوکا ۲۰۰۴). تغییرات آهک عموماً وضعیت شرایطی که این گیاهان در آن روییده اند را نشان می‌دهد و کمتر تحت تاثیر حضور گیاهان است و البته مقادیر بالای آن مانع

جذب برخی از مواد غذایی از جمله نیتروژن برای گیاه همراه نیز می‌شود.

جدول۲- مقایسه میانگین تیمار پوشش‌های گیاهی بر ویژگی‌های مورد مطالعه.

| نوع پوشش | pH | EC (dS m$^{-1}$) | $CaCO_3$ |
|---|---|---|---|
| کرت | ۸/۲ b | ۵/۷۶ b | ۴۲/۵۲a |
| کهور | ۸/۱۸ b | ۶/۴۵b | ۴۱/۷۱ab |
| شاهد | ۸/۶۵a | ۸/۴۷a | ۴۰/۲۲b |

از سویی اثر عمق خاک نیز بر میزان آهک و pH معنی‌دار است (جدول۱). به طوری که میزان آهک و EC در عمق ۰-۲۰ سانتی متری به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را نسبت به عمق‌های دیگر داشته‌اند (جدول۳). مقدار pH از ۸/۱۸ در تیمار کهور پاکستانی تا ۸/۶۵ در تیمار شاهد تغییر می‌کند (جدول۲). مقایسه میانگین‌های pH برای تیمارهای مختلف پوشش گیاهی نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری میان تیمار کرت و کهور پاکستانی و خاک شاهد وجود دارد ولی مقدار آن در نمونه خاک شاهد بیشتر بوده است. مقایسه میانگین‌های pH در عمق‌های مختلف نشان داد میزان pH در عمق۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری را نداشته است در حالی که این پارامتر در عمق ۰-۲۰ سانتی متری با دو عمق فوق‌الذکر تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهند (جدول۳).

جدول۳- مقایسه میانگین تیمار عمق بر ویژگی‌های مورد مطالعه.

| عمق | pH | EC (dS m$^{-1}$) | (٪)$CaCO_3$ |
|---|---|---|---|
| ۰-۲۰ | ۸/۲۹b | ۷/۴۸a | ۳۸/۸۸b |
| ۲۰-۴۰ | ۸/۳۸a | ۶/۳۱b | ۴۳/۳۹a |
| ۴۰-۶۰ | ۸/۳۶a | ۶/۸۸ ab | ۴۲/۲۲a |

میانگین‌ها با حروف مختلف اثر معنی داری در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهند.

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر تیمار نوع پوشش گیاهی بر نیتروژن معدنی معنی‌دار است. مقدار نیتروژن معدنی از ۵۶/۶۱ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در تیمار کرت تا ۱۴/۷۴ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در تیمار شاهد تغییر می‌کند (جدول۴). همچنین مقدار نیتروژن معدنی در هر سه تیمار پوشش گیاهی و سه عمق مورد بررسی روند مشابهی داشته و تیمار کرت بیشترین مقدار نیتروژن معدنی را در هر سه عمق مورد مطالعه در مقایسه با نمونه تیمار کهور پاکستانی و نمونه خاک شاهد به خود اختصاص داد و بعد از آن تیمار کهور پاکستانی در رتبه دوم قرار دارد. بیشترین مقدار نیتروژن معدنی در هر سه تیمار، در عمق ۰-۲۰ سانتی متری مشاهده شده است (شکل ۱).

مقایسه میانگین‌های نیتروژن معدنی در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد که تنها نیتروژن معدنی در عمق۰-۲۰ سانتی متری تفاوت معنی‌داری با سایر اعماق دارد (جدول۵). ۴ برابر بودن مقدار نیتروژن معدنی در خاک تحت تسلط درختان تثبیت کننده نیتروژن نسبت به نمونه خاک شاهد نشان دهنده تاثیر قابل توجه این درختان بر خصوصیات خاک بوده است. کینزیگ و سوکولو (۱۹۹۵) مشاهده کرد که نیتروژن موجود در برگ‌های گونه‌های تثبیت کننده نیتروژن بیشتر از گونه‌های فاقد این ویژگی است. طی تخمینی بر اساس تجزیه گره‌ها در طی فصل خشک، ثابت کرد سرعت

تثبیت نیتروژن تقریبا $kg\ N\ ha^{-1}year^{-1}$ ۶۰ است. همچنین بیشترین مقدار نیتروژن معدنی در میان عمق‌های مورد مطالعه در عمق ۰-۲۰ سانتی متری مشاهده شده که با افزایش عمق مقدار آن کاهش پیدا کرده است. پاندی و سینگ (۲۰۰۰) نیز اظهار داشت که نیتروژن معدنی در خاک تحت تسلط تاج پوشش وسیع و جزیی درخت کرت بیشتر از فضای باز بوده است به طوری که بیشترین مقدار نیتروژن معدنی را در عمق ۰-۱۰ سانتی متری گزارش کرده و این مقدار با افزایش عمق کاهش یافته است.

جدول۴- مقایسه میانگین اثر تیمار پوشش گیاهی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مطالعه.

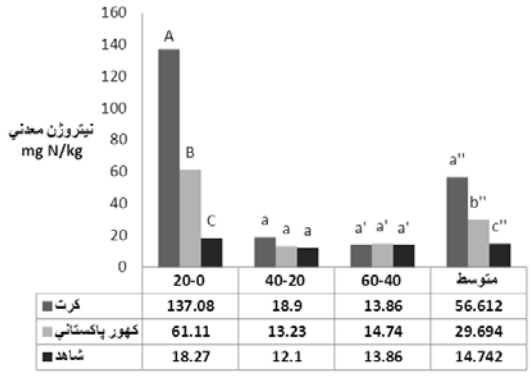
| نوع پوشش | Tot N [۶] %Plant | Org [۵] %C | Tot N [۴] %Soil | PMN [۳] (mg kg-1) | SON [۲] (mg kg-1) | IN [۱] (mg kg-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کرت | ۱۲ a | ۱/۳ a | ۰/۵ ab | ۷۵/۳ a | ۴۰/۹ a | ۵۶/۶ a |
| کهور پاکستانی | ۱۴/۳ a | ۱/۳ a | ۰/۶ a | ۷۱/۲ a | ۴۲/۷ a | ۲۹/۶ b |
| شاهد | ۵/۲ b | ۰/۳ b | ۰/۲ b | ۴۵/۴ b | ۲۲/۵ b | ۱۴/۷ c |

۱ – نیتروژن معدنی ۲ – نیتروژن آلی محلول ۳ – پتانسیل معدنی شدن نیتروژن ۴ – نیتروژن کل خاک ۵ – درصد کربن آلی ۶- نیتروژن کل در گیاه محک

جدول۵- مقایسه میانگین اثر تیمار عمق بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مطالعه.

| عمق | Tot[۶] N Plant ٪ | Org[۵] C٪ | Tot N[۴] Soil٪ | PMN[۳] (mg kg-1) | SON[۲] (mg kg-1) | IN [۱] (mg kg-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰-۲۰ | ۹/۳ a | ۱/۵ a | ۰/۸۱ a | ۸۷/۸ a | ۳۲/۸ a | ۷۲/۱۵ a |
| ۲۰-۴۰ | ۹ a | ۰/۹ b | ۰/۱۳ b | ۵۳/۹ b | ۳۱/۵ a | ۱۴/۷۴ b |
| ۴۰-۶۰ | ۱۳ a | ۰/۷ b | ۰/۴ ab | ۵۰/۲ b | ۴۲ a | ۱۴/۱۵ b |

۱- نیتروژن معدنی ۲ – نیتروژن آلی محلول ۳ – پتانسیل معدنی شدن نیتروژن ۴ – نیتروژن کل خاک ۵ – درصد کربن آلی ۶- نیتروژن کل در گیاه محک




شکل ۱- مقایسه مقدار نیتروژن معدنی در تیمارهای مختلف پوشش گیاهی در اعماق خاک.
میانگین‌ها با حروف مختلف اثر معنی داری در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهند.

بیشترین مقدار نیتروژن محلول در دو نمونه تیمار کرت و کهور پاکستانی در عمق ۴۰-۶۰ سانتی مشاهده شده است که بیشترین مقدار نیتروژن آلی محلول در این عمق را تیمار کهور پاکستانی به خود اختصاص داده است. مقدار متوسط نیتروژن آلی محلول در تیمار کهور پاکستانی با مقدار ۴۲/۷۵

میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بیشترین مقدار این پارامتر در میان سایر نمونه‌های خاک محسوب می‌شود.

هرا-آرولا و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعات خود تحت عنوان بررسی نقش کهور پاکستانی و تاثیر آن بر مقدار کربن و نیتروژن در خاک تحت تسلط درخت، مقدار نیتروژن آلی در خاک تحت تسلط کهور پاکستانی را ۱/۴۰ گرم نیتروژن بر کیلوگرم گزارش کردند. همچنین کمترین مقدار این پارامتر در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری مشاهده شده به طوری که با افزایش عمق مقدار آن افزایش پیدا کرده است.

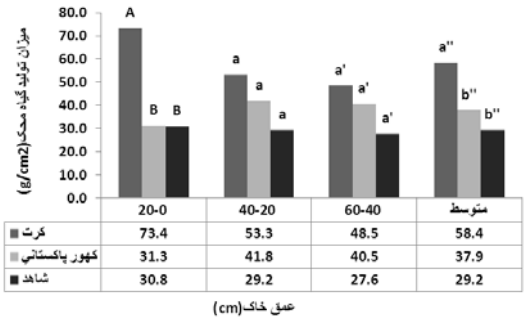
همچنین تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر تیمار نوع پوشش گیاهی بر پتانسیل معدنی شدن نیتروژن، معنی‌دار است. پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در دو تیمار کرت و کهور پاکستانی روند مشابهی داشته و با افزایش عمق، مقدار آن کاهش پیدا کرده است. به طوری که بیشترین مقدار این پارامتر در هر دو نمونه تیمار کرت و کهور پاکستانی در عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک بوده است که بیشترین مقدار پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در تیمار کرت مشاهده شده است. دود و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در چمن‌زارهای دست‌نخورده شدت معدنی شدن در لایه‌های سطحی خاک ($۱۰cm$ -۰) به طور قابل توجهی بیشتر از لایه‌های زیرزمینی است. آنها نشان دادند پتانسیل معدنی شدن نیتروژن و شدت نیتریفیکاسیون با عمق کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین‌های نیتروژن کل در عمق‌های مختلف نشان داد که نیتروژن کل در هر سه عمق مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان داده به طوری که بیشترین میزان نیتروژن کل در عمق ۰-۲۰ سانتی متری مشاهده شده که با افزایش عمق مقدار آن کاهش یافته است (جدول۵). بیشترین مقدار نیتروژن کل در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری در تیمار کهور پاکستانی مشاهده شده و بعد از آن تیمار کرت در رتبه بعدی قرار گرفته است. ریز و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند ۳/۵ گرم نیتروژن بر کیلوگرم در خاک تحت تاج پوشش کهور پاکستانی در مقایسه با ۱/۲ گرم نیتروژن بر کیلوگرم در خاک خارج از تاج پوشش آنها بوده است.

نتایج نشان داد که تاثیر تیمار نوع پوشش گیاهی بر درصد کربن آلی معنی‌دار است. مقدار متوسط درصد کربن آلی از ۱/۳ درصد در تیمار پوشش گیاهی کهور پاکستانی تا ۰/۳ درصد در تیمار شاهد تغییر می‌کند (جدول۴). مقایسه میانگین‌های درصد کربن آلی در عمق‌های مختلف نشان داده که اختلاف معنی‌داری میان عمق ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری مشاهده نشده در حالی که هر دوی این اعماق تفاوت معنی‌داری را با عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری نشان داده‌اند به طوری که مقدار درصد کربن آلی از ۱/۴۶ درصد در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری تا ۰/۷۱ درصد در عمق ۴۰-۶۰ سانتی‌متری متغیر است (جدول۵). درصد کربن آلی در دو نمونه تیمار کهور پاکستانی و درخت کرت روند مشابه و منظم داشته است به طوری که با افزایش عمق مقدار آن کاهش پیدا کرده است. بیشترین مقدار درصد کربن آلی در هر دو نمونه تیمار کهور پاکستانی و درخت کرت در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری مشاهده شده است. ماکدو و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که درصد کربن آلی در عمق ۰-۵ سانتی‌متری خاک در منطقه جنگل‌کاری شده با گونه‌های بومی بسیار بیشتر نسبت به منطقه تخریب شده گزارش شده است. دونالد (۱۹۹۷) مقدار کربن آلی در خاک تحت تسلط کهور پاکستانی در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری را ۱۹/۲ و در فاصله بین ردیف‌های کهور پاکستانی ۱۳/۴ گرم کربن بر کیلوگرم گزارش داد. هرا-آرولا (۲۰۰۷) مقدار نیتروژن آلی در خاک تحت تسلط کهور پاکستانی را ۲۰ گرم نیتروژن بر کیلوگرم گزارش کرد همچنین بیان داشت کربن آلی خاک تحت درخت کهور پاکستانی در مقایسه با خاک نمونه‌برداری شده در خارج از تاج پوشش آنها بسیار بیشتر بوده است.

جدول ۴ بیان می‌کند که تاثیر تیمار نوع پوشش گیاهی بر مقدار نیتروژن کل گیاه محک معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌های مقدار نیتروژن کل گیاه محک برای تیمارهای مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان تیمار پوشش گیاهی کرت و کهور پاکستانی مشاهده

نشده است. در حالی که مقدار نیتروژن کل گیاه محک در هر دو تیمار فوق نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند. مقایسه میانگین‌های مقدار نیتروژن گیاه محک در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای عمق مورد مطالعه مشاهده نشده است (جدول۵). بیشترین میزان تولید در تمام عمق‌های مورد مطالعه در تیمار کرت مشاهده شده است. میزان تولید در هر سه تیمار مورد مطالعه روند منظمی داشته و با افزایش عمق مقدار آن کاهش پیدا کرده است به‌جز در تیمار کهور پاکستانی که روند منظمی مشاهده نشده است (شکل۲). افزایش ۲ برابری میزان تولید در تیمار کرت و ۱/۳ برابری تیمار کهور پاکستانی نسبت به تیمار شاهد نشان دهنده تاثیر مثبت درختان تثبیت کننده نیتروژن بر میزان تولید گیاه محک بوده است.




شکل ۲- مقایسه میزان تولید گیاه محک در تیمارهای مختلف پوشش گیاهی در اعماق خاک.
میانگین‌ها با حروف مختلف اثر معنی داری در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهند.

خو و همکاران (۲۰۰۱) تاثیر گونه *Faidherbia albida* به عنوان درخت تثبیت‌کننده نیتروژن روی گندمیان تحت اشکوب مورد بررسی قرار داد و نشان داد که تولید گندمیان تحت تاج پوشش درختان تقریبا ۲۶ درصد بیشتر از زمین‌های باز بود. همچنین دهنوی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اثر مثبت گونه داغداغان به عنوان درخت تثبیت‌کننده نیتروژن بر تولید گیاه محک (گیاه شاهی) را نتیجه گرفتند.

افزایش میزان کربن آلی و نیتروژن کل در خاک تحت پوشش درختان کهور پاکستانی و کرت و در نتیجه بهبود وضعیت مواد مغذی و کیفیت فیزیکی خاک منجر به افزایش تولید در گیاه محک نسبت به خاک شاهد شده است و این به معنی خاصیت پرستاری این درختان برای گیاهان همراه است که از طریق ریزش لاشبرگ بر خاک تحت اشکوب وارد فاز آلی سپس فرآیندهای معدنی شدن در آن اتفاق می‌افتد تا برای گیاه قابل جذب گردد. از این رو چنانچه در یافته‌های این مطالعه دیده می‌شود افق سطحی بیشترین نیتروژن معدنی را داشته و به تدریج در اختیار افق‌های پایین‌تر قرار می‌دهد. با توسعه کاشت این درختان در منطقه خلیج و عمانی کشور که رویشگاه‌های مطلوب این گونه‌هاست است و بخصوص در زمین‌های زراعی که مواد غذایی از جمله نیتروژن از افق‌های سطحی آبشویی می‌شوند این درختان می‌توانند نقش موثری در به گردش درآوردن آنها از اعماق خاک داشته باشند که این خاصیت تحت عنوان تسهیل نامیده می‌شود. از طرفی در تمامی پارامترهای مورد مطالعه اختلاف قابل توجه‌ای میان تیمارهای کرت و کهور پاکستانی نسبت به تیمار شاهد وجود داشته است که نشانگر توانایی بسیار بالا و تاثیر مثبت این درختان بر خصوصیات خاک نسبت به عرصه فاقد این گونه درختان بوده است. از این‌رو می‌توان به اهمیت این گیاهان در بیشه‌زراعی و همچنین احیای مناطق خشک و نیمه‌خشک پی برد.

**منابع مورد استفاده**

دهنوی س، متین خواه س ح و نوربخش ف، ۱۳۹۲. بررسی نقش داغداغان "*Celtis caucasica*" به عنوان درخت تثبیت کننده نیتروژن بر خصوصیات خاک زیراشکوب در ذخیره گاه جنگلی اردسته‌ی دهاقان- اصفهان. فصل‌نامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر، جلد ۲۱، شماره ۴، صفحه های۶۴۳ تا ۶۵۳.

جزیره ای مح ، ۱۳۸۱. جنگلکاری در خشکبوم، انتشارات دانشگاه تهران.

Bhojvaid PP and Timmer VR, 1996. Reclaiming sodic soils for wheat production by *Prosopis juliflora* (Swartz) DC afforestation in India. Agroforestry Systems 34(2):139-150.

Binkley D and Giardina C, 1997. Nitrogen fixation in tropical forest plantations, Management of soil. Nurtients and Water in Tropical Plantation Forests, Australian Center for International Agricultural Research, Canberra.

Chappill J and Maslin BR, 1995. A phylogenetic assessment of tribe Acacieae in advances in legume systematics. Royal Botanic Gardens, Kew.

Collins HP, Rasmussen PE and Douglas CL, 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. Soil Science Society of America Journal 56(3): 783-788.

Dalal RC, Krischbaum MUF, Harms B and Mathers NJ, 2008. Soil carbon and nitrogen changes after clearing mulga (*Acacia aneura*) vegetation in Queensland, Australia: Observations, simulations and scenario analysis. Soil Biology and Biochemistry 40(2): 392-405.

David IF, Annette LC and Jerome KV, 2006. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees. Forest Ecology and Management 233(2): 211-230.

Dodd MB, Lauenroth WK and Burke IC, 2000. Nitrogen availability through a coarse-textured soil profile in the shortgrass steppe. Soil Science Society of America Journal 64(1): 391-398.

Donald CL, 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the americas. Biology and Fertility of Soils 29(5): 715-185.

Herrera-Arreola G, Herrera Y, Reyes-Reyes BG and Dendooven L, 2007. Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), huisache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd) and catclaw (*Mimosa biuncifera* Benth) and their effect on dynamics of carbon and nitrogen in soils of the semi-arid highlands of Durango Mexico. Journal of Arid Environments 69(4): 583–598.

Keeney DR and Nelson DW, 1995. Nitrogen-inorganic form Pp.643-698. In: page Al, (ed). Methods of Soil Analysis. Part2, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

Kinzig AP and Socolow RH, 1995. Is nitrogen fertilizer use nearing a balance reply? Physics Today 48(8): 75-75.

Kho RM, Yacouba B, Yaye M, Moussa A, Iktam A and Mayak A, 2001. Separating the effects of trees on: the case of *faidherbia albida* and millet in Niger. Agroforestry Systems 52(3): 219-238.

Koloksova AV, Murtazina SG, 1978. Forms of nitrogen and enzyme activity associated with nitrogen metabolism in some tatar soil. Soviet Soil Science (USA) 10(3): 284-290.

Lesica P and DeLuca TH, 2004. Is tamarisk allelopathic? Plant and Soil 267(1): 357-365.

Macedo MO, Resende AS, Garcia PC, Boddey RM, Jantalia CP, Urquiag S, Campello EFC and Franco AA, 2008. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. Forest Ecology and Management 255(5): 1516–1524.

Millard P and Gwen-aelle G, 2010. Nitrogen storage and remobilization by trees: Eco physiological relevance in a changing world. Tree Physiology 30(9): 1083-1095.

Nelson Darrell W and Lee ES, 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of Soil Analysis 3(3): 961-1010.

Pandey CB, Pandya KS, Pandey D and Sharma RB, 1999. Growth and productivity of rice (*Oryza sativa*) as affected by *Acacia nilotica* in a traditional agroforestry system. Tropical Ecology 40(1): 109-117.

Pandey CB and Singh AK, 2000. Soil properties under *Acacia nilotica* trees in a traditional agroforestry system in central India. Agroforestry Systems 49(1): 53-61.

Puri S, Singh S and Kumar A, 1994. Growth and productivity of crops in association with an *Acacia nilotica* tree belt. Journal of Arid Environments 27(1): 37–48.

Reyes-Reyes A, Zamora-Villafranco GE, Reyes-Reyes ML, Frias-Hernandez JT, Olalde-Portugal V and Dendooven L, 2003. Decomposition of leaves of huisache (*Acacia tortuosa*) and mesquite (*Prosopis* spp) in soil of the central higlands of Mexico. Plant and Soil 256(2): 359–370.

Sonkar SD, Bhowmik AK, Singh AK and Banerjee SK, 1998. Growth performance of some nitrogen fixing tree species in degraded soil and subsequent nitrogen enrichment by them. Indian Agriculturist 42(2): 131-136.

Singh YP and Sharma DK, 2010. Biomass and bio-energy production of ten multipurpose tree species planted in sodic soils of indo-gangetic plains. Journal of Forestry Research 21(1): 19-24.

Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Lineres M, Cheneby D and Nicolardot B, 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non limiting nitrogen conditions. Soil Science Society of America Journal 64: 918–926.

Weaver RW, Angel JS and Bottomley PS, 1994. Methods of Soil Analysis, Microbial and Biochemical Properties. Wisconsin, United State: Soil Society of America INC.

Zhao HL, Zhou RL, Su YZ, Zhang H, Zhao LY and Drake S, 2007. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. Ecological Engineering 31(1): 1-8.