بررسی برخی از ویژگی های خاک در جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته بلندمازو

عین اله روحی مقدم[۱*]، سید محسن حسینی، عزت اله ابراهیمی، احمد رحمانی، مسعود طبری و رضا مهدوی

استادیار، عضو هیأت علمی دانشگاه زابل؛ **rouhimoghaddam@yahoo.com**

دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس؛ **hosseini@modares.ac.ir**

مربی، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران؛ **ezzatebrahimi@yahoo.com**

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع؛ **arahmani@rifr-ac.ir**

دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس؛ **masoudtabari@yahoo.com**

مربی، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران؛ **r.mahdavi@kkrm.ir**

چکیده

برای این که یک جنگل کاری پایدار بماند، باید عناصر غذایی خاک کاهش معنی داری پیدا نکند و هیچ تغییر منفی قابل ملاحظه ای در ویژگی های خاک به وجود نیاید. لذا این تحقیق در ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع چمستان صورت گرفته است. در این طرح کاملاً تصادفی، بلند مازو به صورت خالص و آمیخته به نسبت ۵۰ درصد به ۵۰ درصد با هر یک از گونه‌های آزاد، پلت، داغداغان و ممرز جنگل کاری شده است. بعد از ۱۳ سال، با آزمایش ۱۲ ویژگی در دو لایه از خاک، تأثیر احتمالی این جنگل‌کاری‌ها و ترکیب درختی اشکوب برین بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفت. از آزمون‌های تجزیه واریانس دوطرفه و یک‌طرفه و دانکن برای مقایسه ترکیب‌های مختلف آمیختگی استفاده گردید. نتایج نشان داد که بعضی از تیمارهای جنگل کاری شده، موجب افزایش نسبت کربن به ازت و کاهش میزان آهک و مقادیر کلسیم و منیزیم قابل جذب و تا حدودی کاهش اسیدیته در مقایسه با تیمار شاهد است. بین تیمار بلوط خالص و تیمارهای آمیخته نیز برخی تفاوت های آماری معنی‌دار مشاهده شده است، به طوری که در لایه بالایی خاک تیمار بلوط خالص دارای کمترین مقدار ازت کل و بیشترین نسبت کربن به ازت و در لایه پایینی خاک دارای بالاترین مقدار هدایت الکتریکی در مقایسه با دیگر تیمارهای جنگل‌کاری شده می‌باشد. این تحقیق نشان می‌دهد که گونه‌های درختی کاشته شده در تیپ‌های مختلف جنگل‌کاری می‌توانند تا حدودی خواص خاک را تحت تأثیر قرار دهند. لذا در مدیریت پایدار جنگل‌ها این موضوع باید مد نظر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: بلند مازو، جنگل‌کاری خالص و آمیخته، ویژگی های خاک

مقدمه

گیاهان و عوامل زنده دیگر بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها تأثیر می‌گذارند. اکولوژیست‌ها همیشه به دنبال شناخت ارتباط ویژگی‌های خاک با پوشش گیاهی بوده‌اند و این کار را در مواردی به منظور ارزیابی توان رویشگاه انجام می‌دهند (شوئن هولز و همکاران، ۲۰۰۰). مطالعات فراوان و درخور توجهی در

۱- نویسنده مسئول، آدرس: زابل، خیابان شهید مفتح، دانشگاه زابل، دانشکده منابع طبیعی، صندوق پستی ۵۳۸ -۹۸۶۱۵

* دریافت: بهمن ۱۳۸۶ و پذیرش: دی ۱۳۸۹

مورد اثرات گونه‌های درختی متفاوت انجام شده است که نشان می‌دهند ترکیب اشکوب برین بر حاصلخیزی خاک مؤثر است (بولی و همکاران، ۲۰۰۹). به عنوان نمونه در سال ۲۰۰۴، فارلی و کلی اثرات جنگل‌کاری *Pinus radiata* را در علفزار پارامو بر موجودی عناصر غذایی خاک در کوه‌های آند اکوادور مورد مطالعه قرار دادند. بیشترین تأثیر جنگل‌کاری‌ها در خاک‌های رویی (cm ۱۰–۰) مشاهده شد. غلظت ازت کل در عمق متوسط خاک کاهش پیدا کرد. در ۱۰ سانتی متر بالایی خاک، غلظت نیترات در زیر جنگل‌کاری کاج افزایش یافت و در فسفر خاک تغییری حاصل نشد. این درختان جنگل‌کاری شده، pH خاک را کاهش داده بود. محققین نتیجه گرفتند که تغییرات پوشش گیاهی می‌تواند خواص خاک را در طی دوره ۱۰ ساله تغییر دهد.

در آلمان، موهر و همکاران (۲۰۰۵)، در تحقیق خود نشان دادند که ترکیب گونه‌ای بر کیفیت خاک در توده‌های بلوط (Q. robur و Q. petraea) اثر می‌گذارد به طوری که pH خاک و مقدار کلسیم، منیزیم و فسفر در خاک توده‌های بلوط آمیخته با گونه‌های همراه (توس و فندق) بیشتر از جنگل‌کاری‌های خالص بلوط بوده است. در ایتالیا، چیتی و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود نشان دادند که مقدار کربن آلی و ازت خاک رویین (زیر ۱۵ سانتی‌متر) در جنگل‌کاری‌های آمیخته بلوط (*Q. robur*) با توسکا (*Alnus cordata*) بیشتر از جنگل‌کاری‌های خالص بلوط بوده است. آنها دریافتند که توسکا به عنوان گونه همراه، نقش مؤثری در فرآیندهای تحول خاک و چرخه کربن داشته است.

قابلیت تولید جنگل‌کاری‌ها، وابستگی شدیدی به میزان موجودی عناصر غذایی خاک دارد که آن هم تحت تأثیر فعالیت‌های مدیریتی و گونه‌ها قرار دارد (بینکلی، ۱۹۹۷). به طور کلی، مقدار عناصر غذایی خاک در مراحل اولیه رشد توده به علت جذب کم به وسیله گیاهان، معدنی شدن عناصر و تجمع کم در زی‌توده (بیومس) گیاهی، زیاد است. اما با ادامه رشد درختان، به علت جریان به درون زی‌توده چوبی و کاهش معدنی شدن، قابلیت جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد (مونتاگنینی، ۲۰۰۰).

به کرات اظهار شده که جنگل‌ها اثر مفیدی روی خاک‌ها دارند و درختان در غنی‌سازی خاک‌ها از نظر عناصر غذایی در بعضی مناطق معتدله که تبدیل به جنگل‌کاری شده‌اند، تأثیر دارند. برای مثال، تحقیقات صورت گرفته در جنگل‌کاری‌های سوزنی برگان در مناطق معتدله، نشان از بروز تغییرات در بعضی خواص شیمیایی خاک از جمله کاهش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی دارد (فارلی و کلی، ۲۰۰۴). پایداری و دوام جنگل‌کاری‌ها، به مفهوم تولید طولانی مدت و حفظ کیفیت رویشگاه، یکی از اهداف اصلی جنگل‌شناسی است. در جنگل‌هایی که به طور متمرکز مدیریت می‌شوند، نظیر جنگل‌کاری‌ها، اثراتی که بهره‌برداری و فنون آماده‌سازی متمرکز رویشگاه روی خاک دارند، نقش تعیین کننده‌ای در قدرت تولید جنگل ایجاد خواهند کرد (مرینو و همکاران، ۲۰۰۴). گونه‌هایی که یک جنگل‌کاری آمیخته را تشکیل می‌دهند، ممکن است به لحاظ حفظ و ذخیره مجدد عناصر غذایی خاک مکمل یک‌دیگر باشند (استنلی و مونتاگنینی، ۱۹۹۹).

هدف از این تحقیق، بررسی اثرات احتمالی ترکیب درختان جنگل کاری شده بر ویژگی های خاک در ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع چمستان است تا نتایج آن در مدیریت و توسعه پایدار جنگلهای خزری مد نظر قرار گیرد.

مواد و روش ها

توصیف رویشگاه

منطقه اجرای طرح اراضی ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع چمستان می‌باشد که در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی (شکل ۱) در استان مازندران واقع است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا از ۷۰ تا ۱۵۰ متر و شیب آن از صفر تا ۳ درصد متغیر است. آب و هوای منطقه معتدل و مرطوب است. میانگین دمای سالانه ۱۵/۸ درجه سانتی گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۸۴۰ میلی متر و متوسط تعداد روزهای بارندگی در طول سال ۸۴ روز می باشد. متوسط رطوبت نسبی ۷۸ درصد و تعداد روزهای یخبندان ۲۷ روز در سال است. با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دما، فصل خشک منطقه (۷۵ روز) در خرداد ماه شروع و تا اواخر مرداد ادامه می یابد. خاک های ایستگاه چمستان به سه رده Entisols، Inceptisols و Alfisols تقسیم‌بندی می‌شود (ابراهیمی، ۱۳۸۵). طبق رده‌بندی USDA (۲۰۰۶) خاک عرصه این طرح متعلق به رده Enceptisols، زیر رده Udepts، گروه بزرگ Typic Eutrodepts و فامیلی Fine mixed mesic می‌باشد (روحی مقدم، ۱۳۸۵).

طرح مورد مطالعه

در این طرح، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) به عنوان گونه اصلی و هدف به صورت خالص و آمیخته به نسبت ۵۰ به ۵۰ با هر یک از گونه های همراه (شامل آزاد *Zelkova carpinifolia* (Pall.) Dipp.، افرا پلت *Acer velutinum*،

Bioss. et Buhse، ممرز *Carpinus betulus* L. و داغداغان *Celtis australis* L.) شامل ۵ تیمار مختلف و هر یک در سه تکرار با فاصله کاشت ۱ × ۱ متر انجام شده است. هر یک از کرت ها، قطعه ای به ابعاد ۲۵ × ۲۵ متر می‌باشد و به طور تصادفی در هر یک از تکرارها در سال ۱۳۷۳پیاده گردید. نحوه آمیختگی به صورت پایه ای بوده است. این جنگل‌کاری‌ها در عرصه‌ای استقرار یافته است که در گذشته پوشیده از جنگل‌های طبیعی بوده و در سال ۱۳۶۵ پاکتراشی شد. این تحقیق بعد از گذشت ۱۳ سال از کاشت درختان صورت گرفته است.

روش تحقیق

در این تحقیق، به منظور ارزیابی اثرات تیمارهای جنگل‌کاری بر حاصلخیزی خاک، مطالعه خاک در هر یک از تیمارها صورت پذیرفت. ابتدا با حفر و تشریح پروفیل‌های خاک دو افق تشخیص داده شد و به همین دلیل نمونه برداری خاک‌ها در دو عمق cm ۲۰-۰ (افق A) و cm ۶۰-۲۱ (افق B) در تمامی تیمارهای جنگل‌کاری شده و یک تیمار شاهد جنگل‌کاری نشده در مجاورت طرح (با ۳ تکرار) انجام یافت. در این رابطه، از یک اوگر به قطر ۷/۶ سانتی متر استفاده شد بدین صورت که تقریباً در مرکز هر تیمار، سه نمونه از خاک در هر افق برداشت شد. نمونه‌های ترکیبی در مجاورت هوا خشک گردید و بعد از جداسازی ناخالصی‌ها، از الک ۲ میلی متری عبور داده و آماده برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی گردید.

بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری بایکاس مشخص گردید. اسیدیته خاک با استفاده از دستگاه pH متر مدل ۹۰۱ با مخلوط خاک و آب مقطر به نسبت ۱ به ۲/۵ تعیین گردید. هدایت الکتریکی به روش عصاره گیری به دست آمد. کربن آلی خاک به روش Walkley-Black اندازه گیری شد. ازت خاک با استفاده از روش نیمه میکرو کجلدال تعیین شد. فسفر قابل جذب از روش اولسن با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه گیری شد. پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب نیز با استفاده از روش طیف سنج اتمی به دست آمد. درصد رطوبت اشباع و درصد آهک یا T.N.V (Total Neutralizing Value) هر یک از نمونه‌ها نیز به روش تیتراسیون تعیین گردید (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲).

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای خاک با استفاده از آنالیز واریانس دو طرفه (ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند به این صورت که فاکتورهای تیمار جنگل‌کاری و عمق خاک برای ارزیابی اثرات متقابل مورد بررسی قرار گرفتند. درون هر لایه از خاک، اثرات نوع جنگل‌کاری از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Duncan استفاده گردید.

نتایج

جداول ۱ (در مورد خاک رویی) و ۲ (در مورد خاک زیرین) نتایج آزمایش های مورد نظر در این مطالعه را نشان می دهند. میزان رس در عمق ۲۰ – ۰ خاک سانتی متر در این طرح در حدود ۲۶/۸ تا ۳۸/۱ درصد و در افق دوم (۶۰-۲۱ سانتی متر) در دامنه ۲۷/۰ تا ۴۰/۴ درصد اندازه‌گیری گردید. مقدار سیلت در خاک تیمارهای مورد مطالعه به میزان ۳۷/۵ تا ۴۷/۵ درصد در افق اول و ۳۷/۸ تا ۵۴/۳ درصد در افق زیرین به دست آمد. میزان شن در عمق ۲۰ – ۰ سانتی متر خاک در این طرح از ۲۰/۴ تا ۳۱/۰ درصد و در افق دوم از ۱۴/۰ تا ۲۹/۶ درصد متغیر بوده است (جداول۱ و ۲).

در این تحقیق، واکنش خاک (pH) رویی در میان تیمارهای مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری نداشته است (جدول۱). اما در خاک زیرین، آمیختگی بلوط با آزاد واکنش خاک را به بالاترین و آمیختگی آن با افرا واکنش خاک را به پایین ترین مقدار رسانده است (جدول ۲). هدایت الکتریکی نیز همانند pH در خاک رویی این جنگل‌کاری‌ها تفاوت آماری معنی داری نداشته است (جدول ۱). در خاک زیرین این ویژگی در تیمار بلوط خالص بیشتر از تیمارهای بلوط – ممرز و شاهد اندازه گیری شده است (جدول ۲).

تیمار شاهد دارای بالاترین میزان آهک در میان تیمارهای مورد بررسی می‌باشد. به عبارت دیگر جنگل‌کاری‌ها موجب کاهش میزان آهک یا مواد خنثی شونده در هر دو افق خاک شده‌اند. (جداول ۱ و ۲). مقدار درصد رطوبت گل اشباع، کربن آلی و پتاسیم قابل جذب در هر دو افق مورد بررسی تفاوت آماری معنی داری نداشته است. در میان تیمارهای جنگل کاری شده، تیمار بلوط خالص دارای درصد ازت بیشتری در افق اول نسبت به تمام تیمارهای آمیخته دارد و تیمار شاهد (بدون جنگل کاری) دارای حد واسطی نسبت به تیمارهای جنگل کاری شده می باشد. تفاوت آماری معنی داری در افق دوم از این نظر دیده نشد. تیمار بلوط خالص بالاترین مقدار نسبت C/N در افق اول را نسبت به بقیه تیمارها داشته و در افق زیرین تمامی تیمارهای جنگل‌کاری شده C/N بالاتری نسبت به تیمار جنگل‌کاری نشده شاهد دارند. به عبارت دیگر، جنگل‌کاری‌ها موجب کاهش C/N خاک زیرین در این طرح شده است.

آزمون های آماری وجود تفاوت معنی دار میان تیمارهای مورد بررسی را از نظر مقدار فسفر قابل جذب در افق A تأیید نمی‌کند. اما در افق B، تیمار جنگل‌کاری بلوط – آزاد دارای کمترین مقدار این عنصر غذایی می‌باشد. در این تحقیق تفاوتهای آماری معنی‌داری میان تیمارهای مختلف از نظر مقدار کلسیم قابل جذب مشخص شده است، به طوری که این عنصر در افق بالایی در تیمار شاهد، بیشتر از تیمار بلوط – آزاد و در افق زیرین در تیمارهای شاهد و بلوط – افرا بیشترین بوده است. همانند کلسیم، منیزیم قابل جذب نیز در افق بالایی در تیمار شاهد بیشتر از تیمار بلوط – آزاد بوده است. اما در افق پایینی تفاوت معنی داری از این نظر ثابت نشده است.

بحث

تأثیر گونه‌های درختی روی حاصلخیزی خاک نتیجه اثرات متقابل میان درختان و تمامی اجزاء اکوسیستم است و تنها اثر درختان روی خاک معدنی نیست. مثلاً تأثیر تاج یک گونه بر حاصلخیزی خاک بر روی سنگ بسترهای متفاوت فرق می‌کند (آگوستو و همکاران، ۲۰۰۲). بیشتر مفاهیم تولید پایدار در جنگل‌کاری‌ها به کاهش یا افزایش میزان عناصر غذایی رویشگاه به ویژه در چرخش‌های بهره‌برداری ثانویه متمرکز می‌گردد. از این رو، برای این که یک جنگل‌کاری پایدار بماند، باید عناصر غذایی کاهش معنی‌داری پیدا نکند و نسبت C/N در حد ثابتی باقی بماند. به عبارت دیگر، هیچ تغییر منفی قابل ملاحظه‌ای در شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به وجود نیاید (اونیکولو و همکاران، ۲۰۰۶). انتخاب نمونه‌های شاهد همانند مطالعه اونیکولو و همکاران (۲۰۰۶) به این دلیل بوده است که اطلاعات خاک‌شناسی در موقع کاشت در تیمارهای مختلف در دسترس نمی‌باشد.

کاشت توده‌های جنگلی موجب بروز تغییرات در خواص خاک می‌گردد و علاوه بر نوع گونه، شدت این تغییرات تحت تأثیر سن توده و رویش زی‌توده قرار می‌گیرد. بلافاصله بعد از جنگل‌کاری، تغییرات کم اما تدریجی در پارامترهای مهم فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک روی می‌دهد. در تحقیقاتی که چرخه عناصر غذایی در سالهای مختلف بعد از جنگل‌کاری مورد مطالعه قرار گرفته (مونتاگنینی و پوراس، ۱۹۹۸؛ مونتاگنینی، ۲۰۰۰) مشخص شده است که میزان عناصر غذایی خاک با گذشت زمان تغییراتی پیدا می‌کند. مثلاً میزان K، Mg و P کاهش، اما Ca افزایش پیدا می‌کند. این موضوع در تحقیق حاضر تنها برای منیزیم مطابقت داشته است. اما در مورد کلسیم تا حدودی معکوس بوده است. ثابت شده است که K و P دو عنصری هستند که بیش از دیگر عناصر غذایی در خاک‌های جنگل‌کاری شده تخلیه می‌گردند (بوون و نامبیار، ۱۹۸۴). جذب سریع و تثبیت عناصر در زی‌توده درخت علت اصلی این کاهش می‌باشد (مونتاگنینی، ۲۰۰۰). با این حال مونتاگنینی (۲۰۰۰) تفاوت‌های معنی‌داری میان جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته از نظر عناصر غذایی خاک مشاهده نکرد. کاهش عناصر غذایی در اثر دخالتهای بشری از قبیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه نیز در رابطه میان کیفیت خاک و عرضه عناصر غذایی قابل جذب مؤثر است (شابرگ و همکاران، ۲۰۰۶). سنچز و همکاران (۱۹۸۵) بیشترین تأثیر جنگل‌کاری‌ها را در بهبود شرایط خاک در ۱۰ – ۵ سال بعد از فشردگی تاج پوشش ذکر کردند.

میزان ذرات رس و سیلت در خاک این جنگل‌کاری‌ها به نسبت زیاد می‌باشد. از این رو، این جنگل‌کاری‌ها دارای خاک با بافت ریز هستند و از این نظر نفوذ پذیری کم و ظرفیت نگهداری رطوبت مناسبی دارند و نسبت به خاک‌های سبک غنی از عناصر غذایی هستند. در زمستان‌ها مانع نفوذپذیری خاک و در تابستان‌ها درز و ترک‌های متعددی در داخل آن حادث می‌شود (زرین کفش، ۱۳۸۰).

اسیدیته خاک یکی از ویژگی‌های مهم در قابلیت تولید رویشگاه است (جوباگی و جکسون، ۲۰۰۳) و تغییرات در pH خاک در فواصل زمانی ۱۰ ساله در پی تغییرات در کاربری اراضی نظیر جنگل‌کاری‌ها قابل انتظار است. خاک‌های مورد مطالعه همگی خنثی تا کمی قلیایی بوده و در میان این جنگل‌کاری‌ها در افق A تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشته است. البته با توجه به کم بودن سن جنگل‌کاری‌ها و خاصیت بافری خاک، این پدیده چندان دور از انتظار نیست و نتایج صیاد و همکاران (۲۰۰۶) نیز تأیید کننده این مطلب است. به علت عمیق بودن خاک، سنگ آهک مادری بر روی pH خاک رویین تأثیری ندارد (زرین کفش، ۱۳۸۰). از طرف دیگر بیشترین اثر اسیدیته خاک در قابلیت دسترسی عناصر غذایی در توده‌های مسن‌تر مشاهده می‌گردد (فارلی و کلی، ۲۰۰۴). در افق B، این ویژگی در تیمارهای شاهد و بلوط–آزاد بیشتر از تیمار بلوط–افرا بوده است. به عبارت دیگر در این افق، pH خاک در جنگل‌کاری‌ها (به استثناء بلوط–آزاد) نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافته که از این نظر با دیگر مطالعات انجام گرفته در این زمینه (رودس و بینکلی، ۱۹۹۶؛ پاروتا، ۱۹۹۹) همخوانی دارد.

تحقیقات زیادی در مورد اثر گونه‌های درختی بر اسیدیته خاک شده که یافته‌های آنها بر اساس سن درختان و شرایط منطقه مورد مطالعه متفاوت بوده است (آگوستو و

همکاران، ۲۰۰۲). به عنوان مثال مشخص شده است که درختان خانواده بقولات باعث کاهش و سوزنی برگان باعث افزایش شدت اسیدیته خاک می‌شوند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). جوگ و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی جنگل‌کاری‌های صنوبر لرزان، توسکا و بید در آلمان متوجه شدند که pH خاک رویین (cm ۳۰-۰) بعد از ۱۰ سال از جنگل‌کاری‌ها در تمامی تیمارها کاهش یافت. آگوستو و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نموده اند که برخی از گونه‌های درختی اروپا موجب کاهش pH و اسیدی شدن خاک می‌گردند. همچنین آنها مطرح کرده اند که در جنگل‌های اروپا .*Quercus* spp به عنوان گونه‌های درختی ثانویه (در جنگل‌کاری‌ها) pH خاک رویین را کاهش دادند. مونتاگنینی (۲۰۰۰) تفاوتی از نظر pH در خاک تیمارهای تحت مطالعه خود نیافت. بینکلی (۱۹۹۶) و پاروتا (۱۹۹۹) به این نتیجه رسیدند که جنگل‌کاری‌های آمیخته دارای pH کمتری هستند.

از نظر هدایت الکتریکی، خاک‌های مورد مطالعه در گروه خاک‌های با شوری خیلی کم قرار دارند که از اینرو، میزان آن در خاک‌های این عرصه مسئله ساز نیست. در این مطالعه، عدم تغییر زیاد EC در خاک رویین را می‌توان به بالا بودن میزان بارندگی در منطقه و در نتیجه آبشویی فراوان در خاک نسبت داد. وجود تغییرات جزیی این ویژگی در خاک زیرین نیز ممکن است به دلیل رسیدن این کاتیون‌ها و آنیون‌ها به عمق خاک باشد.

با توجه به این‌که سنگهای مادری در منطقه مورد مطالعه غالباً آهکی می‌باشد، لذا در مطالعات خاک‌شناسی، پارامتر T.N.V (Total Neutralizing Value) مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی نتایج نشان می‌دهد هر چند که مقدار آهک در خاک این جنگل‌کاری‌ها کم می‌باشد، ولیکن از این نظر تفاوت‌های معنی‌داری میان تیمارهای مختلف دیده می‌شود. به طوری که این ویژگی چه در خاک رویین و چه در خاک زیرین در تمام تیمارهای جنگل‌کاری شده کمتر از تیمار شاهد (بدون جنگل‌کاری) بوده است. به دلیل شرایط توپوگرافی صاف و شیب ملایم و آبشویی و نفوذ آب از سطح به عمق خاک می‌توان گفت که میزان آهک از سطح به عمق خاک زیاد شده است. به عبارت دیگر، با توجه به میزان بارندگی منطقه (۸۴۰ میلی‌متر) احتمالاً آهک از سطح شسته شده و به سمت عمق خاک حرکت می‌نماید. البته نمی‌توان تفاوتهای موجود در آهک خاک میان تیمارهای مختلف را لزوماً به خاطر تأثیر گونه‌ها دانست و احتمال دارد به شرایط قبلی خاک مربوط باشد. در این تحقیق، کلیه تیمارهای مورد بررسی از نظر میزان درصد رطوبت گل اشباع تفاوت آماری معنی‌داری نداشته‌اند. به طور کلی S.P تحت تأثیر بافت خاک است و کاربرد آن در جذب آب به وسیله گیاه می‌باشد. بدین معنی که خاک‌های رسی آب بیشتری را در خود نگه می‌دارند.

به طور کلی تحقیقات انجام گرفته توسط آگوستو و همکاران (۲۰۰۲) نشان داده است که مقدار کربن و مواد آلی خاک بستگی به نوع گونه‌های موجود در اشکوب فوقانی جنگل دارد. علی‌عرب و همکاران (۱۳۸۴) نیز به همین نتیجه دست یافتند. اما در تحقیق حاضر مشخص شد که ترکیب‌های مختلف جنگل‌کاری تا به این سن بر میزان کربن آلی تأثیری نداشته‌اند. با توجه به این که خاک منطقه مورد مطالعه از لحاظ اسیدیته تقریباً خنثی بوده، از این نظر هیچ مشکلی در جذب نیتروژن به وسیله گیاهان وجود ندارد. در این تحقیق مشخص شده است که مقدار ازت کل در تیمار بلوط خالص کمتر از تیمارهای آمیخته بلوط در خاک رویین بوده است و در افق B در میان تیمارهای اصلی تفاوتی نداشته است. گزارش‌های متفاوتی در مورد اثر گونه‌های درختی بر میزان ازت کل خاک وجود دارد (آگوستو و همکاران، ۲۰۰۲). گارسیا مونتیل و بینکلی در سال ۱۹۹۸ دریافتند که گونه *Albizia* بیشتر از *Eucalyptus* موجب افزایش ازت کل خاک شده بود. همچنین جوگ و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی جنگل‌کاری‌های صنوبر لرزان، توسکا و بید در آلمان دریافتند که بعد از ۱۰ سال از جنگل‌کاری میزان ازت کل در تمام رویشگاه‌ها افزایش چشمگیری در لایه رویین خاک داشت. پاروتا (۱۹۹۹) و مونتاگنینی (۲۰۰۰) تفاوت‌های معنی‌داری میان جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته در ازت خاک مشاهده نکردند. در حالی‌که هانسن و داوسون (۱۹۸۲) متوجه شدند که جنگل‌کاری‌های آمیخته صنوبر و توسکا موجب افزایش ازت خاک در مقایسه با جنگل‌کاری‌های خالص این دو گونه شده بودند.

جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته بلندمازو تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر C/N خاک داشته‌اند. به طوری که در افق A این نسبت در تیمار بلوط خالص بیشتر از بقیه جنگل‌کاری‌ها و تیمار شاهد و در افق B در تیمار بلوط-آزاد بیشترین و در تیمار شاهد کمترین بوده است. به دلیل فقدان لاشبرگ، کرت‌های شاهد پایین‌ترین مقدار C/N را در میان تیمارهای مورد مطالعه داشتند. تأثیر گونه‌های اشکوب بالا بر خاک به واسطه عواملی نظیر اقلیم، ژئولوژی و مدیریت‌های جنگل‌شناسی به طور معنی‌داری فرق می‌کند. از این رو، اگرچه بعضی از ویژگی‌های خاک نظیر میزان کربن و نسبت C/N وابسته به گونه‌های بالا اشکوب است، ولیکن آنها قویاً بستگی به تیپ خاک و نوع اقلیم نیز دارند (مین تمیر و برگ، ۱۹۸۶). در مجموع می‌توان

نتیجه‌گیری نمود که جنگل‌کاری‌ها موجب افزایش C/N خاک گردیده‌اند و جنگل‌کاری‌های خالص بلندمازو نسبت به جنگل‌کاری‌های آمیخته سهم بیشتری در این زمینه داشته‌اند. میزان C/N خاک و متعادل بودن آن بستگی به مواد آلی رسیده و شرایط حیاتی میکروارگانیسم‌ها دارد. از آنجایی که تنوع غذایی در توده‌های آمیخته بیشتر و فعالیت میکروارگانیسم‌ها نیز بیشتر است، به همین علت، مقدار C/N در خاک جنگل‌کاری‌های خالص بلندمازو بیشتر بوده است چرا که فعالیت بیولوژیک خاک در آنجا کمتر می‌باشد. علاوه بر این، مقدار ازت نیز در این تیمارها کمتر از تمامی جنگل‌کاری‌های آمیخته بوده است. جوگ و همکاران (۱۹۹۹) افزایش C/N خاک را بعد از جنگل‌کاری مربوط به تولید لاشبرگ‌ها (با C/N برابر ۲۰) و لاشه ریشه‌ها (با C/N برابر ۶۰-۳۵) دانستند. هاگن تورن و همکاران (۲۰۰۴) تفاوتی در میزان C، N و C/N مشاهده نکردند. صیاد و همکاران (۲۰۰۶) نیز تفاوتی در میزان نسبت کربن با ازت خاک در زیر جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته مورد مطالعه خود گزارش ندادند.

بیشترین تأثیر این جنگل‌کاری‌ها بر میزان فسفر قابل جذب در خاک زیرین دیده می‌شود. در میان ترکیب‌های اصلی این تحقیق خاکهای رویین از نظر میزان این عنصر تفاوت آماری معنی‌داری از خود نشان ندادند. اما در خاک زیرین در ترکیب بلوط - آزاد مقدار این عنصر حداقل می‌باشد. متحرک بودن عناصر در خاک تحت تأثیر میزان حلالیت آنها قرار دارد. از آنجایی که این عنصر کمتر دچار آبشویی می‌شود و از طرفی فسفر مورد نیاز گیاهان از خاک‌های زیر سطحی تأمین می‌شود، لذا در این تحقیق در سطح خاک اختلاف قابل ملاحظه‌ای از نظر میزان فسفر مشاهده نمی‌شود. ولیکن اختلاف در میزان این عنصر در عمق خاک ممکن است به دلیل وجود فسفر در کانی‌های سنگ‌های متفاوت باشد. بدین معنی که میزان فسفر در سنگ‌های زیر سطحی خاک متفاوت بوده و در طول زمان مقدار فسفر رسیده به خاک نیز تفاوت کمی را نشان می‌دهد. البته شرایط جذبی گیاه و نوع گیاهان نیز مؤثر هستند. مونتاگنینی در کاستاریکا در سال ۲۰۰۰ به این نتیجه رسید که در جنگل‌کاری‌های آمیخته نسبت به خالص، خاک دیرتر مواد غذایی خود را از دست می‌دهد و وضعیت فسفر خاک بهبود می‌یابد. افزایش فسفر قابل جذب در خاک رویین در زیر جنگل‌کاری‌ها در تحقیقات متعددی گزارش شده است (بولتن و همکاران، ۱۹۹۵، کاولیر و توبلر، ۱۹۹۸).

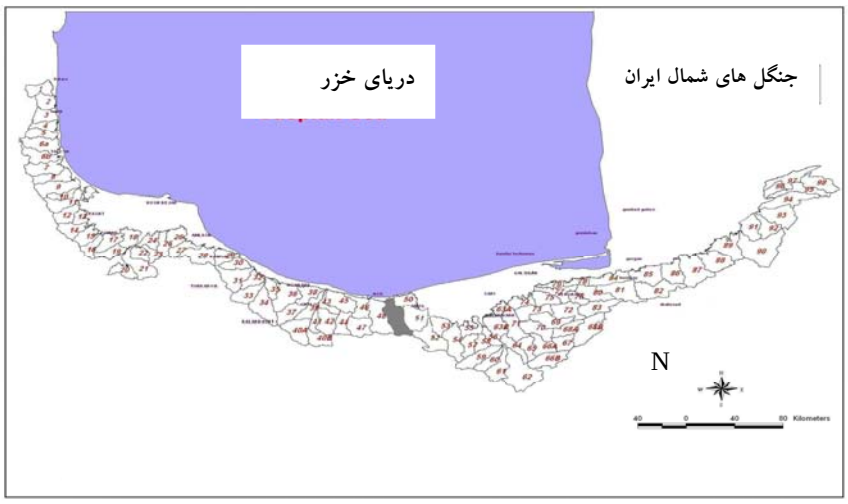
پتاسیم نیز مانند فسفر عنصری است که دارای حرکت زیادی تحت تأثیر آب نبوده و بیشتر به نوع سنگ‌های مادری و مواد مادری وابسته است که چقدر دارای کانی و کاتیون پتاسیم دار باشند و در دراز مدت تحت تأثیر فرآیندهایی نظیر فرسایش فیزیکی و شیمیایی جذب گیاه می‌شود. به طور کلی، سه عنصر N، P و K به عنوان عناصر اصلی رشد گیاه مطرح بوده و در این میان بیشترین مصرف درختان از ازت بوده و فسفر و پتاسیم در مرحله دوم رشد حائز اهمیت می‌باشند. بین این سه عنصر، ازت تحت تأثیر آبشویی و فرآیندهای بیولوژیکی قرار می‌گیرد و ماده اصلی رشد گیاه و فون و فلور خاک است.

کلسیم از عناصر اصلی برای رشد گیاهان است که در استحکام سلول‌های گیاهی با تولید پکتات کلسیم نقش مؤثری دارد. بالا بودن غلظت‌های کلسیم و منیزیم در پلات‌های شاهد به دلیل عدم جذب به وسیله درختان و پایین بودن آنها در جنگل‌کاری‌ها به دلیل جذب به وسیله درختان می‌باشد. زیاد بودن این عناصر در خاک زیرین احتمالاً به دلیل شرایط سنگ مادری آهکی منطقه بوده و پایین بودن غلظت آنها در خاک سطحی علاوه بر جذب به وسیله درختان، ممکن است به دلیل آبشویی باشد. صیاد و همکاران (۲۰۰۶) نیز مقدار کلسیم کمتری را در جنگل‌کاری‌ها نسبت به تیمار شاهد گزارش داده‌اند. در مطالعه جوگ و همکاران (۱۹۹۹) بعد از جنگل‌کاری مقدار کلسیم محلول کاهش، اما منیزیم محلول به طور معنی داری افزایش پیدا نمود. آگوستو و همکاران (۲۰۰۲) ابراز داشتند که برخی از گونه‌های درختی اروپا مواد غذایی خاک نظیر کلسیم و منیزیم را کاهش می‌دهند. اگر غلظت عناصر در جنگل‌کاری‌ها نسبت به شاهد کمتر شود، ممکن است به دلیل تخلیه این عناصر در جنگل‌کاری‌ها باشد (اونیکولو و همکاران، ۲۰۰۶). همانند این تحقیق در مورد عناصر منیزیم و تا حدودی کلسیم، اونیکولو و همکاران در سال ۲۰۰۶ در نیجریه نیز دریافتند که میزان غلظت عناصر غذایی در جنگل کاری‌های جوان و میان سال *Gmelina arborea* تا حدودی کمتر از شاهد بوده است. صیاد و همکاران (۲۰۰۶) تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت عناصر غذایی همچون فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب در جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته صنوبر دلتوییدس و توسکا مشاهده نکردند.

نتیجه گیری

اگرچه مدت زمان طولانی‌تری نیاز است تا یک گونه درختی تأثیری در بهبود خاک معدنی داشته باشد (وستردال و همکاران، ۲۰۰۲)، اما نتایج این تحقیق وجود تفاوتهایی را میان ترکیب‌های مختلف آمیختگی بلندمازو با گونه‌های همراه از نظر تأثیر بر بعضی از ویژگی‌های خاک نشان داده است. لذا در مدیریت پایدار جنگل‌ها این

موضوع را باید مورد توجه قرار داد. نمی‌توان به طور یقین و قطعی دلایل این تفاوت‌های مشاهده شده میان گونه‌ها را تشریح کرد. بلکه باید سهم و نقش کلیه عوامل مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که در این تحقیق تفاوت میان اثر ترکیب گونه‌های جنگل‌کاری شده بر خواص خاک در هر دو لایه خاک دیده می‌شود، می‌توان علت این تفاوت‌ها را بیشتر به خاطر وجود تفاوت‌ها در خواص شاخ و برگ، کمیت و کیفیت لاشبرگ، فرآیندهایی که در کف جنگل روی می‌دهد و همچنین تفاوت در عملکرد ریشه‌ای و بازگشت عناصر غذایی دانست. تفاوت گونه‌ها در میزان برگشت دهی عناصر در مراحل اولیه رشد توده‌ها حائز اهمیت می‌باشد و وجود تفاوت‌ها در کیفیت لاشبرگ، تجزیه پذیری لاشبرگ و فعالیت میکروبی مهمترین دلایل وجود تفاوت‌ها در شیمی خاک میان گونه‌ها می‌باشد. در یک سیستم بسته تفاوت میان گونه‌ها از نقطه نظر تأثیرشان بر خواص خاک، منعکس کننده بازگشت عناصر به خاک در ارتباط با تقاضا و جذب عناصر غذایی توسط هر گونه می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در میان حوضه‌های آبخیز جنگل‌های شمال کشور

جدول ۱- خواص خاک در جنگل کاری‌های خالص و آمیخته بلند مازو و پلاتهای شاهد در افق اول (۲۰-۰ سانتی متر)

تیمار / ویژگی	بلوط خالص	بلوط-آزاد	بلوط-افرا	بلوط- داغداغان	بلوط- ممرز	شاهد	ANOVA
درصد رس	۳۸/۰۰a	۳۳/۲۵ ab	۳۸/۱۳ a	۳۲/۱۳ab	۲۶/۷۵b	۳۱/۵۰ab	*
درصد سیلت	۳۸/۲۵	۴۶/۲۵	۳۹/۵۰	۴۷/۵۰	۴۳/۵۰	۳۷/۵۰	ns
درصد شن	۲۳/۷۵	۲۰/۵۰	۲۲/۳۷	۲۰/۳۷	۳۰/۷۵	۳۱/۰۰	ns
pH	۶/۸۴	۶/۷۵	۶/۶۴	۶/۵۸	۷/۰۳	۷/۱۱	ns
EC (dS/m)	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۰	ns
T.N.V (٪)	۲/۳۸b	۳/۴۴ab	۰/۸۱b	۱/۱۹b	۱/۶۸b	۶/۲۵a	**
S.P (٪)	۶۲/۵۰	۷۱/۳۸	۷۴/۲۵	۷۳/۵۰	۶۶/۷۵	۶۱/۰۰	ns
کربن آلی (٪)	۲/۹۰	۲/۸۶	۲/۹۸	۲/۷۸	۲/۸۳	۲/۲۱	ns
ازت کل (٪)	۰/۲۰b	۰/۲۸a	۰/۳۱a	۰/۲۹a	۰/۳۰a	۰/۲۴ab	*
نسبت کربن به ازت	۱۵/۳۳a	۱۰/۱۴b	۹/۵۸b	۹/۴۰b	۹/۶۲b	۹/۲۰b	**
فسفر قابل جذب(ppm)	۲۳/۳۸	۲۱/۰۳	۲۷/۶۶	۲۳/۷۸	۲۵/۹۴	۲۹/۷۵	ns
پتاسیم قابل جذب(ppm)	۳۲۰/۰۰	۴۰۱/۲۵	۳۷۵/۰۰	۴۲۰/۰۰	۳۹۲/۵۰	۴۱۷/۵۰	ns
کلسیم قابل جذب(ppm)	۲۰۰/۰۰ab	۱۳۷/۵۰b	۱۴۳/۷۵ab	۱۵۷/۵۰ab	۱۵۲/۵۰ab	۲۱۵/۰۰a	*
منیزیم قابل جذب(ppm)	۴۲/۰۰ab	۳۱/۵۰b	۳۳/۰۰ab	۳۷/۵۰ab	۳۳/۰۰ab	۵۸/۵۰a	*

ns، معنی دار نبودن اثر تیمارها؛ * ، $p < ۰/۰۵$ ؛ ** ، $p < ۰/۰۱$ دانکن؛ حروف لاتین مشابه مبین عدم وجود تفاوت آماری معنی دار در میان تیمارها می‌باشد.

جدول ۲- خواص خاک در جنگل کاری‌های خالص و آمیخته بلند مازو و پلاتهای شاهد در افق دوم (۶۰-۲۱ سانتی متر)

تیمار / ویژگی	بلوط خالص	بلوط-آزاد	بلوط-افرا	بلوط- داغداغان	بلوط- ممرز	شاهد	ANOVA
درصد رس	۳۵/۵۰	۳۱/۷۵	۴۰/۳۸	۳۶/۰۰	۲۷/۰۰	۲۹/۵۰	ns
درصد لای	۴۲/۲۵	۵۴/۲۵	۳۷/۷۵	۴۶/۳۸	۴۳/۳۸	۴۸/۵۰	ns
درصد شن	۲۲/۲۵	۱۴/۰۰	۲۱/۸۷	۱۷/۶۲	۲۹/۶۲	۲۲/۰۰	ns
pH	۶/۸۸ ab	۶/۹۷ a	۶/۴۷ b	۶/۷۱ ab	۶/۷۰ ab	۷/۰۲ a	*
EC (dS/m)	۰/۶۰ a	۰/۵۵ ab	۰/۴۵ ab	۰/۵۲ ab	۰/۴۴ b	۰/۴۰ b	*
T.N.V (٪)	۵/۲۵ ab	۲/۲۵ ab	۰/۴۴ b	۲/۹۴ ab	۱/۵۶ b	۸/۱۳ a	**
S.P (٪)	۵۸/۲۵	۷۲/۵۰	۶۸/۲۵	۷۰/۷۵	۵۹/۱۳	۶۲/۷۵	ns
کربن آلی (٪)	۱/۹۷	۱/۹۰	۱/۸۰	۱/۹۱	۱/۶۴	۱/۶۰	ns
ازت کل (٪)	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۱	ns
نسبت کربن به ازت	۱۰/۷۴ ab	۱۲/۲۷ a	۱۰/۷۴ ab	۱۰/۵۳ b	۱۰/۳۲ b	۷/۶۴ c	*
فسفر قابل جذب(ppm)	۲۸/۳۱ a	۱۶/۸۱ b	۲۷/۷۵ a	۲۱/۱۸ ab	۲۸/۳۵ a	۲۹/۷۵ a	*
پتاسیم قابل جذب(ppm)	۳۱۵/۰۰	۳۴۸/۷۵	۳۲۷/۵۰	۳۳۰/۰۰	۳۳۸/۷۵	۳۱۷/۵۰	ns
کلسیم قابل جذب(ppm)	۱۶۵/۰۰ ab	۱۳۵/۰۰ b	۱۷۸/۷۵ a	۱۳۳/۷۵ b	۱۳۲/۵۰ b	۱۸۰/۰۰ a	*
منیزیم قابل جذب(ppm)	۳۹/۰۰	۲۸/۵۰	۴۴/۲۵	۲۷/۰۰	۲۸/۵۰	۴۰/۵	ns

ns، معنی دار نبودن اثر تیمارها؛ * ،$p < ۰/۰۵$ ؛ ** ، $p < ۰/۰۱$ دانکن؛ حروف لاتین مشابه مبین عدم وجود تفاوت آماری معنی دار در میان تیمارها می باشد.

فهرست منابع:

۱. ابراهیمی، ع ۱۳۸۵. بررسی کشت خالص و آمیخته بلوط بلند مازو با گونه‌های بومی جنگل‌های شمال. گزارش نهایی ده‌ساله طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. ۷۰ صفحه.

۲. روحی‌مقدم، ع.، ۱۳۸۵. پویایی رشد و تغذیه جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته بلندمازو. رساله دکترای جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۵ صفحه.

۳. زرین کفش، م. ۱۳۸۰. خاک‌شناسی جنگل. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره انتشار: ۲۹۲. ۳۶۱ صفحه.

۴. علی احیایی، م و بهبهانی زاده، ع.ا ۱۳۷۲. شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۸۹۳. ۱۲۹ صفحه.

۵. علی‌عرب، ع.، حسینی، س.م.، جلالی، س.غ ۱۳۸۴. اثر گونه‌های افرا پلت، اقاقیا، صنوبر آمریکایی و زربین بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در جنگل‌کاری شرق هراز. علوم خاک و آب ۱۹(۱): ۱۰۶-۹۷.

6. Augusto, L., J., Ranger, D., Binkley, and A., Rothe. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. Ann. For. Sci. 59: 233-253.
7. Belton, M.C., K.F., O'Connor, and A.B., Robson. 1995. Phosphorus levels in topsoils under conifer plantations in Canterbury high country grasslands. NZ J. For. Sci. 25 (3): 265-282.

8. Binkley, D. 1996. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian Eucalyptus and Albizia plantations. Forest Ecology and Management 80(1-3): 47-56.
9. Binkley, D., 1997. Bioassays of the influence of Ecalyptus saligna and Albizia falcataria on soil nutrient supply and limitation. Forest Ecology and Management 91(2-3): 229-234.
10. Boley, J.D., P., Allan, A.P., Drew, E., Richard, and R.E., Andrus. 2009. Effects of active pasture, teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. Forest Ecology and Management 257 (11): 2254-2261.
11. Bowen, G.D., and E.K.S., Nambiar. 1984. Nutrition of plantation forests. Academic Press, New York, p. 516.
12. Cavelier, J., and A., Tobler. 1998. The effect of abandoned plantations of *Pinus patula* and *Cupresses lusitanica* on soils and regeneration of a tropical montane rain forest in Colombia. Biodivers. Conserv. 7: 335-347.
13. Chiti, T., A., Certini, A., Puglisi, A., Sanesi, C., Capperucci, and C., Forte. 2007. Effects of associating a N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in minesoils. Geoderma 138: 162-169.
14. Farley, K.A., and E.F., Kelly. 2004. Effects of afforestation of a Paramo grassland on soil nutrient status. Forest Ecology and Management 195: 281-290.
15. Garcia-Montiel, D.C., and D., Binkley. 1998. Effect of Eucalyptus saligna and Albizia falcataria on soil processes and nitrogen supply in Hawaii. Oecologia 113(4): 547-556.
16. Hagen-Thorn, A., I., Callesen, K., Armolaitis, and B., Nihlgard. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. Forest Ecology and Management 195: 373-384.
17. Hansen, E.A., and J.O., Dawson. 1982. Effect of Alnus glotinosa on hybrid poplar height growth in a short-rotation intensively cultured plantations. Forest Science 28(1): 49-59.
18. Jobbagy, E.G., and R.B., Jackson. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry 64: 205-229.
19. Jug, A., F., Makeschin, K.E., Rehfuess, and C., Hofmann-Schielle. 1999. Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. For. Ecol. Man.121: 85-99.
20. Meentemeyer,V., and B., Berg. 1986. Regional variation in rate of mass loss of *Pinus sylvestris* needle litter in Swedish pine forests as influenced by climate and litter quality. Scand. J. For. Res. (1): 167-180.
21. Merino, A., A., Ferandez-Lopez, F., Solla-Gullon, and J.M., Hedeos. 2004. Soil changes and tree growth in intensively managed *Pinus radiate* in northern Spain. Forest Ecology and Management 196: 393-404.
22. Mohr, D., M., Simon, and W., Topp. 2005. Stand composition affects soil quality in oak stands on reclaimed and natural sites.Geoderma 129: 45-53.
23. Montagnini, F. 2000. Accumulation ln above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. Forest Ecology and Management 134(1-3): 257-270.
24. Montagnini, F., and C., Porras. 1998. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. Environmental Management, 22: 459-470.
25. Onyekwelu, J.C., R., Mosandl, and B., Stimm. 2006. Productivity, site evaluation and state of nutrition of *Gmelina arborea* plantations in Oluwa and Omo forest reserves, Nigeria. Forest Ecology and Management 229: 214–227.
26. Parrotta, J.A. 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of Casuarina equisetifolia, Eucalyptus robusta, and Leucaena leucocephala in Puerto Rico. Forest Ecology and Management 124(1): 45-77.

27. Rhoades, C., and D., Binkley. 1996. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian *Eucalyptus* and *Albizia* plantations. Forest Ecology and Management, 80: 47-56.
28. Sánchez, P.A., C.A. Palm, C.B., Davey, L.T., Szott, and E.C., Russell. 1985. Tree crops as soil improvers in the humid tropics? In: Cannell, M.G.R., Jackson, J.E. (Eds.), Attributes of Trees as Crop Plants. Institute of Terrestrial Ecology, Huntingdon, England, pp. 327-350.
29. Sayyad, E., S.M., Hosseini, , J., Mokhtari, R., Mahdavi, S.G., Jalali, M., Akbarinia, and M., Tabari. 2006. Comparison of growth, nutrition and soil properties of pure and mixed stands of *Populus deltoids* and *Alnus subcordata*. Silva Fennica. 40(1): 27-35.
30. Schaberg, P., J.W., Tilley, G.J., Hawley, D.H., DeHayes, and S.W., Bailey., 2006. Associations of calcium and aluminum with the growth and health of sugar maple trees in Vermont. Forest Ecology and Management 223: 159–169.
31. Schoenholtz, S.H., H., Van Miegroer, and J.A., Burger. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management 138: 335-356.
32. Stanley, W.G., and F., Montagnini. 1999. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. Forest Ecology and Management 113: 91-103.
33. USDA. 2006. Key to soil taxonomy. Tenth edition. NRCS.
34. Van Breemen, N. 1993. Soils as biotic contracts favouring net primary productivity. Geoderma 57: 183-211.
35. Vesterdal, L., E., Ritter, and P., Gundersen. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. Forest Ecology and Management 169: 137-147.
36. Zhang, K., H., Dang, S., Tan, Z., Wang, and Q., Zhang. 2010. Vegetation community and soil characteristics of abandoned agricultural land and pine plantation in the Qinling Mountains, China. Forest Ecology and Management 259: 2036–2047.