

برآورد زی توده کرم خاکی در روشنه‌های تاج‌پوشش و جنگل آمیخته راش

هاشم حبشی^{۱*}، اردشیر عباسی^۲، رامین رحمانی^۳ و محمدهادی معیری^۴

^۱دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۲کارشناس ارشد، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۳دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۴دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱۳)

چکیده

زی توده کرم خاکی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک‌های جنگلی است. برآورد زی توده کرم خاکی در خاک‌های جنگلی به دلیل تغییرات زیاد خصوصیات خاک اغلب دشوار است. هدف این تحقیق مقایسه کارایی رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون درختی در برآورد زی توده کرم خاکی در شرایط متفاوت جنگل است. بدین منظور زی توده کرم خاکی در ۴۰ روشنه طبیعی تاج‌پوشش و جنگل دست‌نخورده مجاور آن در پارسل ۳۲ جنگل شصت کلاته به روش دستی از خاک جدا و در آزمایشگاه با دقت صدم گرم تعیین شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق روش‌های استاندارد در آزمایشگاه تعیین شد. بهترین مدل در روش رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون درختی برای برآورد زی توده کرم خاکی تعیین شد. اعتبارسنجی مدل‌های برازش شده با استفاده از آماره‌های میانگین خطا، میانگین مجذور مربعات خطا و مقدار خطای نسبی انجام شد. با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه، متغیرهای وزن مخصوص ظاهری و نیتروژن کل ۲۴ درصد واریانس زی توده را در جنگل دست‌نخورده برآورد کردند و متغیر مساحت روشنه ۶۶ درصد واریانس را در روشنه تاج برآورد کرد. نتایج نشان داد رگرسیون خطی چندگانه، زی توده کرم خاکی را بیشتر از مقدار واقعی، و رگرسیون درختی در جنگل دست‌نخورده مقدار زی توده را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و در روشنه دقیق عمل می‌کند. با توجه به نتایج تحقیق و به‌واسطه ناهمگنی زیاد جنگل، پیشنهاد شد پژوهش به‌صورت سلسله‌مراتبی انجام گیرد تا ابتدا متغیرهای مهم اثرگذار یافت شوند (در این تحقیق مساحت روشنه و پتاسیم قابل جذب خاک) و بعد از مونه‌بندی روی‌شگاه براساس آنها، روابط متغیرهای مستقل و وابسته بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون درختی، زی توده، کرم خاکی، مساحت روشنه.

مقدمه

در خاک‌های جنگلی برای نشان دادن اثر دخالت انسان و تغییر کاربری اراضی بر اکوسیستم استفاده شده است (Geissen et al., 2009; Lee, 1985). ارتباط زی توده کرم خاکی در اکوسیستم‌های جنگلی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک یا خصوصیات محیطی در تحقیق‌های قبلی بررسی شده (Boettcher & Kalisz, 1991; Doube et al., 1997;)

زی توده کرم خاکی یکی از شاخص‌های بیولوژیک خاک است که در منابع متعددی به‌عنوان شاخص کیفیت خاک معرفی شده است (Muys & Granval, 1997; Tondoh et al., 2007; Rousseau et al., 2010; Guéi et al., 2012). به همین دلیل برآورد آن حائز اهمیت است، به‌ویژه آنکه تغییرات زی توده کرم خاکی

مشخص شد که رگرسیون درختی توان بیشتری در برآورد دارد. (Nabiollahi et al., 2014) با استفاده از رگرسیون درختی و شبکه عصبی مصنوعی به برآورد بافت خاک پرداختند و مشخص شد که رگرسیون درختی دارای دقت بیشتری در تخمین هر سه مشخصه شن، رس و سیلت نسبت به شبکه عصبی مصنوعی است و همچنین تفسیر مدل رگرسیون درختی بسیار راحت‌تر است. (Bakhshoodeh & Rahimikhoob, 2015) در برآورد تبخیر و تعرق مرجع مناطق خشک از روش رگرسیون درختی، شبکه عصبی مصنوعی و هارگریوز استفاده کردند و مشخص شد که رگرسیون درختی دقت بیشتری در تخمین داشت. هدف این تحقیق برآورد زی توده کرم خاکی با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است؛ برای مدلسازی از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و درختی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

منطقه تحقیق در پارسل ۳۲ جنگل آموزشی دکتر بهرام‌نیا در عرض جغرافیایی $36^{\circ} 41'$ تا $36^{\circ} 45'$ شمالی و طول جغرافیایی $54^{\circ} 20'$ تا $54^{\circ} 24'$ شرقی قرار گرفته است. این قطعه به عنوان قطعه شاهد بوده و تاکنون در آن برداشتی انجام نشده است. مقدار بارندگی متوسط سالیانه 649 میلی‌متر است؛ براساس کلیماتوگرام آمبرژه مقدار Q برابر $46/7$ است که گویای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد است و شاخص خشکی 27 براساس طبقه‌بندی دومارتن، نشان‌دهنده اقلیم نیمه‌مرطوب است (Bahramnia, 1995).

روش پژوهش

40 روشنه طبیعی تاج‌پوشش در این پارسل انتخاب و مساحت آنها به روش مثلثی (Renato, 2005) تعیین شد و برای محاسبه شکل روشنه از فرمول شاخص کشیدگی میلر استفاده شد (رابطه ۱).

(Pfiffner & Mader, 1997) و متغیرهای بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته، درصد رطوبت خاک و عمق خاک به‌عنوان متغیرهای اثرگذار بر تغییرات فراوانی (تراکم و زی توده) کرم خاکی در جنگل‌های مختلف معرفی شده است (Rose & Wood, 1980; Rahmani & Saleh-Rastin, 2000; Irannejad & Rahmani, 2009). درصد شیب و جهت دامنه نیز متغیرهای محیطی مهم اثرگذار بر تغییرات فراوانی کرم خاکی معرفی شده‌اند (Moghimian & Kooch, 2013). به هر حال تخمین زی توده کرم خاکی در رابطه با خصوصیات محیطی و خاک موضوعی مهم است و با توجه به تغییرات مکانی زیاد زی توده کرم خاکی و خصوصیات خاک‌های جنگلی، برآورد زی توده کرم‌های خاکی کاری دشوار و اغلب وابسته به مقیاس بررسی است. الگوریتم درخت رگرسیون و طبقه‌بندی CART (Classification And Regression Tree) توسط Breiman et al. (1984) معرفی شده است. این روش برای متغیرهای کمی طراحی شده، اما برای هر نوع متغیری کاربرد دارد. این روش موجب تشکیل یک درخت تصمیم با تقسیمات دوتایی می‌شود. از مهم‌ترین معایب رگرسیون درختی، آریبی مدل برای انتخاب متغیرهاست، در موارد با تعداد کلاس زیاد و نمونه آموزشی کم، احتمال خطا زیاد است. هرس کردن درخت نیز هزینه زیادی دارد، به‌علاوه در متغیرهای کیفی با تعداد سطوح بیشتر از دو، نتایج گمراه‌کننده خواهد بود، زیرا ممکن است چند سطح یک متغیر به یک گره تعلق گیرد که سبب می‌شود نتوان تفسیر ساده‌ای از نتایج ارائه کرد (Breiman et al., 1984). از مدل رگرسیون درختی برای پهنه‌بندی و برآورد مقدار روی و کربن آلی خاک به‌کارگیری داده‌های کمکی استفاده شده است (Kheir et al., 2010a,b). (Dehghani Baniani et al., 2012) در برآورد هدایت آبی اشباع به مقایسه رگرسیون خطی چندگانه و درختی پرداختند و

پس از خشک کردن با ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم توزین و زی توده آن معین شد. رگرسیون خطی چندگانه به روش گام به گام و با لحاظ مفروضات آن انجام گرفت و از روش داده کاوی^۷ برای برآورد زی توده به روش رگرسیون درختی استفاده شد.

در روش رگرسیون درختی، زی توده کرم خاکی براساس ویژگی‌های خاک و خصوصیات محیطی روشن به شاخه‌های مختلفی تقسیم می‌شود. به اولین گره، گره مادر گفته می‌شود که به گره‌های فرزند تقسیم می‌شود. ابتدا تمامی نمونه‌ها در گره مادر قرار می‌گیرند. گره مادر براساس یکی از ویژگی‌های خاک یا خصوصیات محیطی روشن که بیشترین یکنواختی را در گره‌های فرزند ایجاد می‌کند تقسیم می‌شود. بهترین طبقه‌بندی زمانی انجام می‌شود که بهترین متغیر برای ایجاد بیشترین یکنواختی در گره‌های فرزند انتخاب شود. هرچه به سمت گره‌های پایین‌تر حرکت می‌کنیم، مقدار انحراف معیار و تعداد داده‌ها کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر هرچه به سمت گره‌های پایین‌تر حرکت کنیم، همگنی گره افزایش می‌یابد و آن گره برآوردی دقیق‌تر از زی توده کرم خاکی به ما می‌دهد. در روش رگرسیون درختی به منظور حصول شرایط بالا تابع ناخالصی^۸ $i_{(t)}$ تعریف شد. براساس این تابع، هر گره براساس یکنواختی به گره‌های فرزند تقسیم می‌شود و بیشترین یکنواختی گره‌های فرزند برابر با بیشترین تغییرات تابع ناخالصی $\Delta i_{(t)}$ است. رابطه یادشده به گونه زیر است (رابطه ۲):

$$Di_{(t)} = i_{(tp)} - E[i_{(tc)}] \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن تابع $i_{(tp)}$ تابع ناخالصی گره مادر، و $E[i_{(tc)}]$ ناخالصی گره‌های فرزند است (Timofeev, 2004). در رگرسیون درختی برای جلوگیری از بزرگ شدن بیش از اندازه درخت رگرسیون، حداقل اندازه نمونه در هر گره ۵ و حداکثر تعداد گره ۲۰ و شرط شکستن گره‌ها بر مبنای واریانس گذاشته شد.

$$S = (12.57 * A) / P^2 \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، A مساحت و P محیط روشن است که مقدار به دست آمده بین صفر تا ۱ متغیر است. هرچه مقدار به دست آمده به ۱ نزدیک‌تر باشد، شکل روشن به دایره نزدیک‌تر است و هرچه به سمت صفر باشد، شکل روشن کشیده‌تر خواهد بود. نمونه برداری به صورت ترکیبی با استفاده از اوگر در افق سطحی (۲۵ سانتی متری خاک معدنی پس از حذف لایه آلی) انجام شد. پنج نمونه در هر روشن با فاصله ۵ متر (یک نمونه در مرکز و چهار نمونه دیگر در چهار جهت جغرافیایی) انتخاب شد و پس از مخلوط شدن یک نمونه ترکیبی گرفته شد. نمونه برداری از جنگل دست نخورده در زیر تاج پوشش بسته صورت گرفت که از مرز روشن و تاج پوشش ۲۰ متر فاصله داشت. نمونه‌ها هوا خشک شده و پس از عبور از الک ۲ میلی متری غربال شدند و خصوصیات آنها در آزمایشگاه تعیین شد. نیتروژن کل با روش کج‌لدال^۱، فسفر قابل جذب با روش اولسن^۲، پتاسیم قابل جذب با دستگاه فلیم فتومتر^۳، اسیدیت به روش الکتریکی^۴ و ماده آلی خاک با روش والکل بلک^۵ تعیین شد. برای تعیین وزن مخصوص ظاهری از سیلندرهایی با حجم ۱۰۰ سانتی متر مکعب استفاده شد.

در این تحقیق نمونه برداری از کرم‌های خاکی در اوایل اردیبهشت صورت گرفت (Rahmani & Saleh- Rastin, 2000). نمونه برداری کرم خاکی با استفاده از یک چارچوب فلزی به ابعاد ۳۳×۳۳×۱۰ سانتی متر در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی متری خاک سطحی صورت گرفت. کرم‌های خاکی به روش دستچین^۶ جدا شد و

¹ Kjeldahl, method

² Olsen et al method

³ Flame photometer method

⁴ Rhoades & Oster method

⁵ Walkley-Black, method

⁶ Digging and hand sorting

⁷ Data mining

⁸ Impurity function

نتایج

خلاصه اطلاعات زی توده کرم خاکی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در روشنه‌های تاج پوشش و جنگل دست نخورده مجاور آن در جدول ۱ آمده است.

میانگین زی توده کرم خاکی در روشنه و جنگل دست نخورده به ترتیب ۱۸/۷۳ و ۲۳/۲۴ گرم در متر مربع بود. مقادیر اسیدپته، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و نسبت کربن به نیتروژن در جنگل دست نخورده بیشتر از روشنه بود، در حالی که وزن مخصوص ظاهری روشنه بیشتر از جنگل دست نخورده بود. ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه گیری شده با زی توده کرم خاکی در روشنه‌های تاج پوشش توسط رگرسیون خطی چندان برآورد شد که نتیجه در جدول ۲ آمده است.

ضریب تبیین مدل رگرسیون ۰/۶۶ به دست آمد و متغیر مساحت روشنه به عنوان متغیر پیش بینی کننده زی توده کرم خاکی معرفی شد. در رگرسیون درختی نیز مساحت روشنه به عنوان متغیر تقسیم کننده گره مشخص شد. روشنه‌هایی که مساحت کمتر از ۷۴۲ متر داشتند در یک گره و آنهایی که مساحت بیشتر از این مقدار داشتند در گره بعدی قرار گرفتند. مقدار انحراف معیار به سمت گره‌های پایینی کمتر می شود، به نحوی که مقدار اولیه آن ۱۸/۶۸ بود، اما در گره‌های بعدی به ترتیب به ۴/۵۳ و ۵/۵۱ کاهش یافت. درخت رگرسیون در این مرحله رسم شد که در شکل ۱ آورده شده است. تعداد مشاهدات در گره اصلی ۱۸۱ بود که پس از تقسیم در برگ سمت راست ۶۴ و برگ سمت چپ ۱۱۷ مشاهده قرار گرفت.

ارزیابی درخت براساس شاخص هزینه دسته بندی اشتباه^۱ انجام شد. برای ایجاد هر درخت رگرسیون تقسیم بندی گره‌ها آماره‌های تخمین (مانند مجموع مربعات رگرسیون) برای هر متغیر پیش بینی کننده محاسبه و بهترین متغیر پیش بینی کننده برای هر مرحله تقسیم انتخاب می شود. متغیری که میانگین بیشتری در آماره‌ها برای کلیه مراحل تقسیم داشته باشد، به عنوان مهم ترین متغیر معرفی می شود که تحت عنوان اهمیت نسبی متغیر از آن یاد می شود. در اغلب نرم افزارها اهمیت نسبی نرمال شده و متغیری که اهمیت نسبی آن بیشتر به عدد ۱ نزدیک باشد بیشترین اهمیت نسبی را دارد.

اعتبارسنجی مدل های برآورد شده با استفاده از آماره های میانگین خطا^۲، میانگین مجذور مربعات خطا^۳، مقدار خطای نسبی^۴ و ضریب تبیین R^2 انجام شد. ضریب تبیین شاخصی برای اندازه گیری خطی بودن رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده است. هرچه مقدار آن به ۱ نزدیک تر باشد، رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده به رابطه خطی نزدیک تر است. مقدار آماره میانگین خطا بیان کننده آن است که مدل مورد نظر زی توده کرم خاکی را بیشتر (مقادیر مثبت) یا کمتر (مقادیر منفی) از واقعیت برآورد می کند. مقدار میانگین مجذور مربعات خطا همواره مثبت یا صفر است و با نزدیک شدن آن به صفر عملکرد مدل افزایش می یابد. مقدار خطای نسبی نیز همواره مثبت یا صفر است و بزرگی مقدار خطا را در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهد و با نزدیک شدن به صفر، عملکرد مدل افزایش می یابد (Dehghani Baniani et al., 2012). تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار STATISTICA V10.0 انجام شد.

¹ Misclassification

² ME (Mean Error)

³ RMSE (Root Mean Square Error)

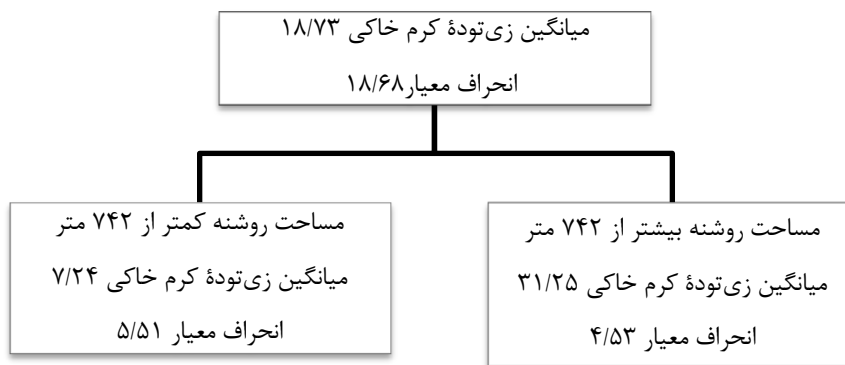
⁴ RE (Relative Error)

جدول ۱- آمار توصیفی خصوصیات خاک و زی توده کرم خاکی در روشنه های تاج پوشش و جنگل دست نخورده

ضریب تغییرات		دامنه تغییرات (بیشینه- کمینه)		میانگین \pm انحراف معیار		متغیر
جنگل دست نخورده	روشنه تاج پوشش	جنگل دست نخورده	روشنه تاج پوشش	جنگل دست نخورده	روشنه تاج پوشش	
۷۴/۹۸	۹۹/۸۰	۱/۱۹-۷۰/۱۶	۰/۵۱-۷۹/۷۷	۲۳/۲۴ \pm ۱۷/۴۳	۱۸/۷۳ \pm ۱۸/۶۹	زی توده کرم خاکی (gr/m ²)
۸/۲۷	۷/۹۶	۵/۳۰-۷/۲۱	۵/۴۶-۷/۶۲	۶/۶۹ \pm ۰/۵۵	۶/۴۶ \pm ۰/۵۱	اسیدیته
۲۹/۱۸	۵۱/۶۸	۲/۰۱-۷/۶۵	۰/۵۸-۷/۲۴	۵/۵۸ \pm ۱/۶۳	۳/۰۷ \pm ۱/۵۸	کربن آلی (%)
۴۱/۳۴	۵۰/۷۲	۰/۰۸-۰/۶۶	۰/۰۵-۰/۶۲	۰/۴۳ \pm ۰/۱۸	۰/۲۷ \pm ۰/۱۴	نیتروژن کل (%)
۲۹/۴۵	۴۷/۹۱	۴/۸۰-۱۱/۵۰	۲/۰۲-۱۵/۸۰	۷/۹۵ \pm ۲/۳۴	۷/۱۴ \pm ۳/۴۲	فسفر قابل دسترس (gr/kg)
۲۱/۴۰	۳۳/۲۶	۱۳۵/۰۰-۳۰۵/۰۰	۱۳۵/۰۰-۴۰۵/۰۰	۲۲۴/۹۸ \pm ۴۸/۱۴	۲۰۵/۵۰ \pm ۶۸/۳۶	پتاسیم قابل دسترس (gr/kg)
۲۰/۶۳	۱۷/۹۶	۰/۶۳-۱/۵۳	۰/۶۵-۱/۵۱	۱/۰۵ \pm ۰/۲۲	۱/۱۶ \pm ۰/۲۱	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)
۱۱۶/۴۷	۱۱۵/۵۴	۱۰/۴۲-۸۳/۲۸	۱/۵۴-۹۴/۶۸	۱۸/۷۲ \pm ۲۱/۸۰	۱۵/۸۸ \pm ۱۸/۳۵	نسبت کربن به نیتروژن
	۲۰/۲۵		۰/۲۵-۰/۸۸		۰/۶۴ \pm ۰/۱۳	ضریب کشیدگی میلر
	۵۷/۲۵		۱۱۰/۰۰-۱۱۶۲/۰۰		۴۷۰/۵۸ \pm ۲۶۹/۳۸	مساحت روشنه (m ²)

جدول ۲- تجزیه واریانس رگرسیون خطی چندگانه و ضرایب رگرسیون در روشنه تاج

P	T	اشتباه معیار	ضریب	مدل رگرسیون	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۱	-۲/۵۸	۳/۶۸	-۹/۴۸	مقدار ثابت	۷۵/۹۹**	۹۰۸۲/۰۸	۱	۹۰۸۲/۰۸	خط رگرسیون
۰/۰۰	۸/۷۲	۰/۸۳	۷/۲۳	مساحت روشنه		۱۱۹/۵۱	۳۸	۴۵۵۱/۴۷	باقی مانده
								۱۳۶۲۳/۵۵	کل



شکل ۱- درخت تصمیم رگرسیون درختی در روشنه های تاج پوشش

دست نخورده توسط رگرسیون خطی چندگانه برآورد شد که نتیجه در جدول ۳ آمده است.

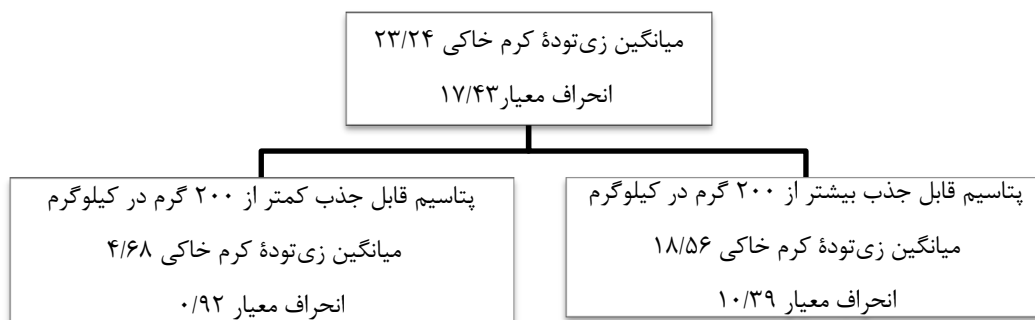
ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه گیری شده با زی توده کرم خاکی در جنگل

جدول ۳- تجزیه واریانس رگرسیون خطی چندگانه و ضرایب رگرسیون در جنگل دست نخورده

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	مدل رگرسیون	ضریب	اشتباه معیار	T	P
خط رگرسیون	۳۴۹۵/۴۱	۳	۱۱۶۵/۱۴	۵/۰۲**	مقدار ثابت	۱۲/۵۹	۱۷/۲۱	۰/۷۳	۰/۴۷
باقی مانده	۸۳۴۷/۸۸	۳۶	۲۳۱/۸۹		وزن مخصوص ظاهری	-۳۲/۹۱	۱۵/۴۵	-۲/۱۳	۰/۰۴
کل	۱۱۸۴۳/۲۹				نیتروژن کل	۰/۶۶	۰/۲۹	۲/۲۸	۰/۰۳

رگرسیون درختی پتاسیم قابل جذب به عنوان متغیر تقسیم کننده گره مشخص شد. درخت رگرسیون در این مرحله رسم شد که در شکل ۲ آورده شده است.

متغیرهای وزن مخصوص ظاهری و نیتروژن کل وارد مدل شدند و این دو متغیر توانستند ۲۴ درصد از تغییرات زی توده کرم خاکی را برآورد کنند. در



شکل ۲- درخت تصمیم رگرسیون درختی در جنگل دست نخورده

همبستگی انجام شد. مقادیر آماره‌های مذکور در جدول ۴ آمده است.

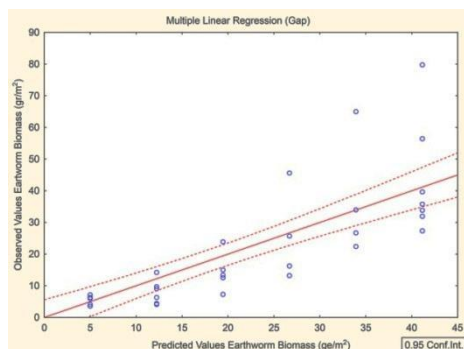
اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون درختی توسط آماره‌های میانگین مربعات خطا، میانگین خطا، مقدار خطای نسبی و ضریب

جدول ۴- اعتبارسنجی رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون درختی

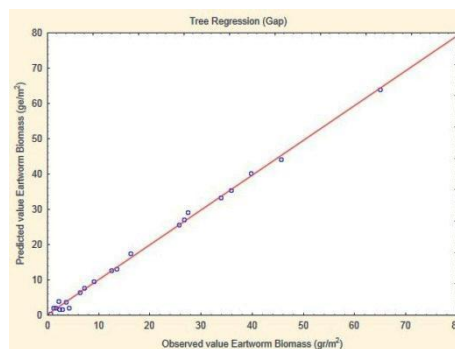
نوع اکوسیستم	نوع رگرسیون	میانگین مربعات خطا	میانگین خطا	خطای نسبی	ضریب همبستگی
جنگل دست نخورده	خطی چندگانه	۲۰۰/۶۴	۰/۴۵	۱/۳۰	۰/۵۷۰
	درختی	۵۱/۰۰	-۱/۰۵	۱/۰۶	۰/۸۳۹
روشنه تاج	خطی چندگانه	۱۱۳/۵۳	۲/۳	۰/۸۵	۰/۸۱۶
	درختی	۱۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۷۹	۰/۹۸۸

درختی در برآورد زی توده کرم خاکی در روشنه‌های تاج پوشش و جنگل دست نخورده را نشان می‌دهد.

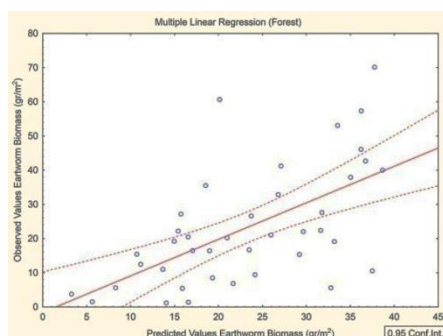
در شکل ۳ مقادیر برآورد شده در مقابل مقادیر اندازه گیری شده رسم شد که دقت رگرسیون خطی چندگانه و



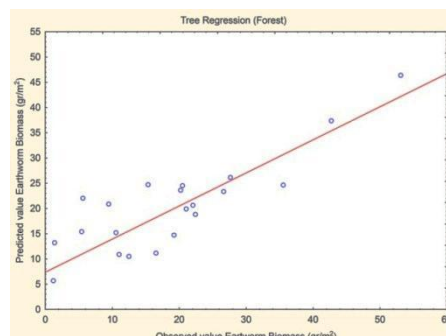
ب



الف



د



ج

شکل ۳- مقایسه رگرسیون خطی چندگانه و درختی در برآورد زی توده کرم خاکی در روشنه‌های تاج‌پوشش و جنگل دست‌نخورده
 الف: رگرسیون درختی در روشنه‌های تاج‌پوشش؛ ب: رگرسیون خطی چندگانه در روشنه‌های تاج‌پوشش؛ ج: رگرسیون درختی در جنگل دست‌نخورده؛
 د: رگرسیون خطی چندگانه در جنگل دست‌نخورده) محور X ها مقادیر اندازه‌گیری شده زی توده کرم خاکی است و محور Y ها مقادیر برآورد شده است.

در تحقیقات قبلی بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته و درصد رطوبت خاک را به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات فراوانی (تراکم و زی توده) کرم خاکی در جنگل‌های هیرکانی دانسته‌اند (Rahmani & Saleh- Rastin, 2000; Moghimian & Kooch, 2013). تحقیق حاضر در روش رگرسیون خطی چندگانه متغیرهای وزن مخصوص ظاهری و نیتروژن کل خاک در جنگل توانستند ۲۴ درصد از واریانس تغییرات زی توده کرم خاکی را تبیین کنند. بین ۸۰ تا ۹۰ درصد زی توده کرم‌های خاکی را آب می‌سازد؛ از این رو کرم‌های خاکی به آب فراوان نیاز دارند و در پی خشک شدن خاک، بیشتر آنها می‌میرند؛ هرچند برخی توان مهاجرت محدود به عمق خاک را دارند و

بحث

دامنه تغییرات زی توده کرم خاکی در جنگل دست‌نخورده و روشنه‌های تاج به ترتیب ۷۰-۱ با میانگین ۲۳/۲۴ و ۸۰-۰/۵ با میانگین ۱۸/۷۳ گرم در متر مربع بود. این مقادیر در محدوده مقادیر گزارش شده (حداکثر و میانگین آن کمی بیشتر) برای زی توده کرم خاکی در جنگل‌های راش آمیخته است (Rahmani & Saleh-Rastin, 2000; Irannejad & Rahmani, 2009). زی توده کرم خاکی در همین جنگل بین ۵/۹ تا ۱۲/۱ گرم (در متر مربع) گزارش شده است (Irannejad & Rahmani, 2009). به هر حال کاهش مقدار زی توده کرم خاکی از جنگل دست‌نخورده به روشنه تاج نیز گزارش شده است (Nachtergale et al., 2002).

۳۶/۶ درجه سانتی‌گراد در روشنه با مساحت ۳۶۰۰ متر مربع افزایش یافت. کمینه دمای هوا در مرکز روشنه ۲۳ درجه سانتی‌گراد بود که ۱ درجه سانتی‌گراد کمتر از جنگل مجاور آن بود. بیشینه دمای هوا در مرکز روشنه بزرگ‌تر از ۳۷۰ متر مربع در دامنه بین ۳۴/۷ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از دمای هوا در روشنه‌های کوچک‌تر ۲۸/۵ تا ۳۳/۴ درجه سانتی‌گراد یا جنگل (۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد) بود. بیشترین حرارت خاک درون روشنه در خاک لخت یافت شد و کمترین آن در جایی از روشنه بود که بیشترین پوشش کف جنگل (لاشریزه) را داشت. حرارت خاک جنگل بین ۲۳/۶ تا ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد بود، اما در روشنه ۱ درجه سانتی‌گراد کمتر بود (Duan et al., 2009). رطوبت خاک روشنه و جنگل متفاوت بود، به‌نحوی که در روشنه متوسط شاخص رطوبتی ۱۰/۵ و در جنگل مجاور ۶/۵ بود و در روشنه‌های کوچک‌تر خاک مرطوب‌تر از روشنه‌های با مساحت بزرگ بود (Whitmore et al., 1993; Brown, 1995). حرارت و رطوبت مناسب در روشنه‌های بزرگ فعالیت میکروارگانیسم‌ها را تشدید می‌کند و تجزیه مواد آلی توسط میکروپها با سرعت بیشتری انجام می‌شود (Ritter, 2005). در بین خصوصیات شیمیایی خاک ارتباط فراوانی (زی توده و تراکم) کرم خاکی با نیتروژن کل، ماده آلی (Marinissen et al., 1993) و کربن آلی، کلسیم و فسفر گزارش شده است (Shakir & Dindal, 1997; Nana-Osi et al., 2008). بین تعداد و زی توده کرم‌های خاکی با C/N و کربن آلی خاک رابطه منفی معنی‌دار وجود دارد (Kooch et al., 2010). هنگامی که کلسیم قابل جذب در زیستگاه کرم‌های خاکی فراوان باشد، کرم‌ها بخشی از کلسیم جذب‌شده را به کمک غده‌های ویژه آهک‌ساز خود به فرم کربنات کلسیم درمی‌آورند و از این راه سبب کاهش دی‌اکسید کربن در بدن و در پی آن در اتمسفر خاک می‌شوند و از این طریق ازدیاد

تعدادی نیز با کاهش سوخت‌وساز خود تا نمناک شدن دوباره خاک به حالت خواب می‌روند و در این حالت ۵۰ تا ۷۰ درصد (مانند *Lumbricus terrestris*) زی توده خود را از دست می‌دهند. بهترین رطوبت خاک برای زندگی کرم‌های خاکی گنجایش زراعی است (Rose & Wood, 1980). کرم‌ها از راه سوراخ‌های پوستی خود تنفس می‌کنند، ولی در برابر کمبود اکسیژن زودرنج نیستند. آنها در زیستگاه دارای دی‌اکسید کربن فراوان و بی‌هوازی نیز می‌توانند مدت کوتاهی زنده بمانند. مواد اسیدی بدن کرم‌ها در چنین زیستگاهی کم‌کم زیاد می‌شود که پس از بهبود تهویه خاک برطرف می‌شود. کرم‌های خاکی به اکسیژن (اگرچه کم) نیاز دارند و در خاک‌های سنگین با زهکشی نامناسب (Jordan et al., 2000) کمتر زیست می‌کنند و فراوانی کمی دارند (Pizl, 1992). با توجه به موارد فوق رابطه منفی (ضریب زاویه منفی در جدول ۳) زی توده کرم خاکی و وزن مخصوص ظاهری خاک توجیه می‌شود.

کرم‌های خاکی که در خاک جنگل‌های معتدل زندگی می‌کنند توان تحمل گرما یا سرمای زیاد را ندارند. دمای بهینه برای کرم‌های خاکی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. همه آنها در دمای زیر صفر طی چند ساعت می‌میرند. بیشتر گونه‌های کرم‌های خاکی در دمای بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مدت چند روز می‌میرند. این جانوران برای دوری از دماهای نامناسب به سوراخ‌ها و دالان‌های زیرزمینی پناه می‌برند.

رطوبت خاک سطحی روشنه‌هایی با مساحت کمتر از ۲۰۰ متر مربع اغلب بیشتر از جنگل مجاور با تاج‌پوشش بسته است (Vitousek & Denslow, 1986; Uhl et al., 1988; Becker et al., 1988). Jetten (1994) در روشنه‌هایی که یک سال از ایجاد آنها گذشته است، تخمین زد که مقدار تبخیر روشنه ۱۵ برابر نسبت به جنگل افزایش می‌یابد، حال آنکه تعرق کاهش می‌یابد. بیشینه دمای هوا از ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد در مرکز روشنه با مساحت ۴۰ متر مربع به

دیگر مشخصات شیمیایی خاک بررسی شده در تحقیق افزایش می‌یابد (Shabani et al., 2011). در تحقیقی با نتیجه متناقض، مساحت روشنه تأثیر ناچیزی بر ذخیره کربن و نیتروژن خاک در جنگل راش اروپایی داشت (Bauhus et al., 2004). به هر حال در اغلب تحقیقات، روشنه تاج نیتروژن بیشتری از جنگل مجاور دارد و با افزایش مساحت روشنه مقدار نیتروژن خاک افزایش می‌یابد؛ مقدار این افزایش کم است، اما معنی‌دار گزارش شده است (Denslow et al., 1998). همچنین ثابت شده است که با افزایش اندازه روشنه، زی‌توده و تراکم ماکروفون خاک افزایش می‌یابد (Kheiri et al., 2012).

اندازه روشنه ۷۴۲ متر به‌عنوان مرز طبقه‌بندی در گره رگسیون درختی انتخاب شده است. در اغلب طبقه‌بندی‌های موجود روشنه‌های خیلی بزرگ مساحتی بیشتر از ۷۴۲ متر دارند (Brokaw, 1982; Runkle, 1992) و هنگامی که مساحت روشنه خیلی زیاد می‌شود دیگر حالت زمین لخت و بدون پوشش را پیدا می‌کند که از حالت روشنه تاج خارج می‌شود.

انباشت کربن در روشنه‌های با اندازه مختلف و در مناطق جنگلی با تاج پوشش بسته متفاوت با یکدیگر صورت می‌گیرد (Pastor et al., 1984). در روشنه‌های بزرگ‌تر مقدار نیتروژن (نیتراته و آمونیاکی) بیشتر است. حدود ۸۵ درصد از نیتروژن کل در رویشگاه‌های جنگلی از راه تجزیه مواد آلی حاصل می‌شود (Bauhus et al., 2004) به‌سبب سرعت تجزیه کم، لاشبرگ زیادی در راشستان‌ها روی هم انباشته می‌شود. با ایجاد به‌هم‌خوردگی‌های طبیعی و تشکیل روشنه‌های تاج، مقدار زیادی از نیتروژن لاشبرگ در اختیار افق‌های زیرین خاک قرار می‌گیرد (Prescott et al., 2003) به‌عبارت دیگر عمل تبدیل نیتروژن آلی به معدنی در روشنه‌های بزرگ با حجم و سرعت بیشتری انجام می‌گیرد (Ritter, 2005). در چرخه نیتروژن داخل روشنه‌های تاج پوشش میزان معدنی شدن نیتروژن به‌وسیله نسبت کربن به نیتروژن

دی‌اکسید کربن خاک در اثر کوبیدگی و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک را کنترل می‌کنند. کرم‌های خاکی به کلسیم فراوانی نیاز دارند که آن را به ریخت یون کلسیم جذب می‌کنند. کلسیم جذب شده به کمک غده‌های ویژه به کربنات کلسیم دگرگون می‌شود و به‌صورت دانه‌های کوچک کلسیت به لوله گوارش می‌ریزد. این غده‌ها گذشته از کلسیم اندازه برخی عناصر دیگر را در خون هماهنگ می‌کنند. برخی از کرم‌ها مانند *Allolobophora chlorotica* در برابر کمبود کلسیم بسیار زودرنج‌اند و فراوانی آنها به هنگام کمبود کلسیم در خاک کاهش می‌یابد.

مهم‌ترین عواملی که در روشنه ایجاد تغییرات می‌کند شامل میزان نور ورودی (Barton, 1984; Fetcher et al., 1985; Brown, 1993; Denslow et al., 1998)، میکروکلیم (به‌خصوص رطوبت و حرارت خاک) تقاضای گیاهان باقی‌مانده برای مواد غذایی، و میزان لاشریزه ورودی به کف جنگل است (Whitmore, 1978, Runkle, 1992). در مرکز روشنه‌های کمتر از ۲۰۰ متر مربع میزان نور دوبرابر جنگل مجاور روشنه است (Denslow et al., 1990).

مساحت روشنه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در روشنه‌ها به‌تنهایی ۶۶ درصد از واریانس تغییرات زی‌توده کرم خاکی را تبیین کرد. علت این موضوع را می‌توان به ارتباط مساحت روشنه با خصوصیات خاک نسبت داد که با تغییر خصوصیات خاک زی‌توده کرم خاکی تغییر می‌کند. مساحت روشنه تأثیر معنی‌داری بر شرایط میکروکلیمایی دارد (Lee, 1978; Chazdon & Fetcher, 1984; Lawton, 1990; Denslow & Hartshorn, 1994). بیشترین تأثیر تغییر مساحت روشنه بر تشعشعات خورشیدی و حرارت هوا مشاهده شده است. همبستگی معنی‌داری بین درجه حرارت خاک، هوا و رطوبت خاک با میزان تشعشعات خورشیدی وجود دارد (Whitmore et al., 1993). مساحت روشنه تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات خاک دارد، به‌نحوی که با افزایش مساحت روشنه، مقدار کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن کاهش و مقدار

رابطه با خصوصیات شیمیایی خاک بررسی شده و بین ۱ تا ۴۸ درصد واریانس تغییرات به این خصوصیات ارتباط داده شد؛ از این رو بیان شد که عوامل دیگری به جز خصوصیات شیمیایی خاک تغییرات زی توده کرم خاکی را کنترل می‌کنند (Jiménez et al., 2014). عواملی همچون شیمی لاشریزه، فرم هوموس و شدت فعالیت جانوری به‌عنوان عوامل مهم کنترل‌کننده الگوی پراکنش کرم خاکی در توده‌های راش معرفی شده است (Aubert et al., 2005). با توجه به دقت بیشتر رگرسیون درختی به دلایل زیر کار با مدل رگرسیون درختی پیشنهاد می‌شود: این مدل به‌طور مستقیم با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مرتبط است، بنابراین نتایج مدل برای فهمیدن و شبیه‌سازی آسان هستند. درخت‌های تصمیم‌گیری غیرپارامتریک هستند و کاربر هیچ دخالتی در آنها ندارد. خروجی مدل از دقت زیادی برخوردار است که می‌توان آن را با دیگر مدل‌ها مقایسه کرد. در رگرسیون درختی، به نرمال کردن و دسته‌بندی داده‌ها نیاز نیست و عواملی مانند هم‌راستایی چندگانه و ضریب تورم واریانس را نباید کنترل کرد. از معایب درخت رگرسیون ناپایداری آن است. ورود یا حذف یک مشاهده نتایج را بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ راه غلبه بر آن استفاده از روش‌های ترکیبی مانند جنگل تصادفی است. با توجه به ناهمگنی زیاد محیط جنگل توصیه می‌شود متغیرهای مهم اثرگذار با تحقیقات مقدماتی مشخص شود و پس از مونه‌بندی رویشگاه براساس آنها تحقیقات تکمیلی برای یافتن روابط متغیرهای مستقل و وابسته انجام گیرد.

خاک کنترل می‌شود (Bartsch, 2000). در صورت کاهش نسبت کربن به نیتروژن و pH خاک مقدار نیتروژن در خاک افزایش می‌یابد. شکل روشنه بر خصوصیات محیطی تأثیر دارد. اشکال غیرمنظم، محیط‌های سایه‌دار بیشتری در روشنه ایجاد می‌کند که سبب کاهش تبخیر می‌شود. ناهمگنی روشنه تحت تأثیر عواملی همچون مساحت، جهت کشیدگی، شکل، توپوگرافی و ارتفاع درختان مجاور روشنه قرار می‌گیرد. شکل روشنه عامل اصلی کنترل‌کننده نور نفوذیافته به داخل روشنه است که مقدار تبخیر در روشنه را کنترل می‌کند (Canham et al., 1990).

مقدار میانگین خطا (ME) نشان داد که رگرسیون درختی، زی توده کرم خاکی را در روشنه‌های تاج بسیار دقیق (میانگین خطای ۰/۰۴) و در جنگل دست‌نخورده کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (میانگین خطای ۱/۰۵-). حال آنکه رگرسیون چندگانه خطی، زی توده کرم خاکی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (میانگین خطای ۰/۴۵ برای جنگل دست‌نخورده و میانگین خطای ۲/۳ برای روشنه تاج در جدول ۴). این جدول همچنین نشان داد که رگرسیون درختی در آزمون اعتبارسنجی از رگرسیون خطی چندگانه کارا تر بوده است. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای نسبی (RE) برای جنگل دست‌نخورده و روشنه تاج به ترتیب ۵۱ و ۱۰/۱۸ است که نسبت به رگرسیون خطی چندگانه (برای جنگل دست‌نخورده و روشنه تاج به ترتیب ۲۰/۶۴ و ۱۱۵/۵۳)، مقادیر کمتری بوده و به ترتیب ۷۵ و ۹۱ درصد کمترند. تغییرات مکانی زی توده کرم خاکی در

References

- Aubert, M., Hedde, M., Decaëns, T., Margerie, P., Alard, D., & Fabrice, B. (2005). Factors controlling soil macrofauna spatial pattern in a pure beech and a mixed beech-hornbeam forest. *Biologies*, 328, 57-74.
- Bahramnia, H. (1995). *Forestry Management Plan*, Gorgan: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource.

- Bakhshoodeh, M., & Rahimikhoob, A. (2015). Comparison of regression tree, artificial neural network and Hargrives-Samani in estimation of reference evapotranspiration in semi region. *Journal of Water and Irrigation Management*, 4(2), 149-160.
- Bartsch, N. (2000). Element release in beech (*Fagus sylvatica* L.) forest gaps. *Water, Air and Soil Pollution*, 122, 3–16.
- Bauhus, J., Vor, T., Bartsch., N., & Cowling, A. (2004). The effects of gaps and liming on forest floor decomposition and soil C and N dynamics in a *Fagus sylvatica* forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 509–518.
- Becker, P., Rabenold, P.E., Idol, J.R., & Smith, A.P. (1988). Water potential gradient for gap and slopes in a Panamanian tropical moist forest dry season. *Journal of tropical ecology*, 4, 173-184.
- Boettcher, S.E., & Kalisz, P.J. (1991). Single-tree influence on earthworms in forest soils in eastern Kentucky. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 862-865.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C.J., and Olshen, R.A. (1984). *Classification and Regression Trees*. 1th edition. New York, N.Y.: Chapman and Hall/CRC.
- Brokaw, N.V.L. (1982). The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. *Biotropica*, 14, 158–160.
- Brown, G.G. (1995). How do earthworms affect micro floral and faunal community diversity?. *Plant and Soil*, 170, 209–231.
- Brown, N.D. (1993). The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean lowland rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 9, 153–168.
- Canham, C.D., Denslow, J.S., Platt, W.J., Runkle, J.R., Spies, T.A., & White, P.S. (1990). Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 620–631.
- Chazdon, R.L., & Fetcher, N. (1984). Light environments of tropical forests, In “*Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*” (E. Medina, H.A. Mooney, and C. Vasquez-Yanes, Eds.), pp. 27–36.
- Dehghani Baniani, S., Ghorbani, SH., Mohammadi, J., & Khodaverdilou, H. (2012). Comparing the performance of multiple linear regression and regression tree to predict saturated hydraulic conductivity and the inverse of macroscopic capillary length. *Iranian Water Research Journal*, 5(9), 193-203.
- Denslow J.S., Ellison, A.M., & Sanford, R.E. (1998). Tree fall gap size effect on above- and below-ground processes in a tropical wet forest. *Journal of Ecology*, 86, 597–609.
- Denslow, J.S., & Hartshorn, G.S. (1994). Tree-fall gap environments and forest dynamic processes, In “*La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest*” (L.A. McDade, K.S. Bawa, H.A. Hespeneide, and G.S. Hartshorn, Eds.), pp. 120–127.
- Denslow, J.S., Sshultz, J.C., Vitousek, P.M., & Strain, B.R. (1990). Growth responses of tropical shrubs to tree fall gap environments. *Ecology*, 71, 165–179.
- Doube, B.M., Schmidt, O., Killham, K., & Correll, R. (1997). Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for lumbricid earthworms: a simple food preference study. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 569–575.
- Duan, W., Wang, J., & Yan, I. (2009). Micro environmental heterogeneity of physical soil properties in a broad-leaved *Pinus koraiensis* forest gap. *Front Forest of China*, 4(1), 38-45.
- Fetcher, N., Oberbauer, S.F., & Strain, B.R. (1985). Vegetation effects on microclimate in lowland tropical forest in Costa Rica. *International Journal of Biometeorology*, 29, 145-155.

- Geissen, V., Pena-Pena, K., & Huerta, E. (2009). Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiologia*, 53, 75–86.
- Guéi, A. Jérôme, M., & Tondoh, E. (2012). Ecological preferences of earthworms for land-use types in semi-deciduous forest areas. *Ivory Coast Ecological Indicators*, 18, 644–651.
- Irannejad, E., & Rahmani, R. (2009). Evaluation of earthworm abundance and vertical distribution pattern in some forest types of Shast-Kolateh. *Journal of forest and wood product*, 62(2), 145-157.
- Jetten, V.G., (1994). *Modeling the effects of logging on the water balance of a tropical rain forest. A study in Guyana*. Tropenbos Series 6, the Tropenbos Foundation. Wageningen.
- Jiménez, J.J., Decaëns, T., Lavelle, P., & Rossi, J.P. (2014). Dissecting the multi-scale spatial relationship of earthworm assemblages with soil environmental variability. *BMC Ecology*, 14(26), 1-19.
- Jordan, D., Hubbard, V.C., Ponder, J.R.F., & Berry, E.C. (2000). The influence of soil compaction and the removal of organic matter on two native earthworms and soil properties in an oak-hickory forest. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 323-328.
- Kheir, B., Greve, M.H., Bocher, P.K., Greve, M.B., Larsen, R., & McCloy, K. (2010a). Predictive mapping of soil organic carbon in wet cultivated lands using classification-tree based models: The case study of Denmark. *Journal of Environment Management*, 91, 1150-1160.
- Kheir, R.B., Greve, M.H., Abdallah, C., & Dalgaard, T. (2010b). Spatial soil zinc content distribution from terrain parameters: A GIS-based decision-tree model in Lebanon. *Environmental Pollution*, 158, 520–528.
- Kheiri, M., Habashi, H., Waez Moosavi, S.M., & Moghimian, N. (2012). Effects of canopy gap on soil macro fauna in mixed beech stand (case study in shast- kalate forest). *Human and Environment*, 10(34), 101-108.
- Kooch, Y., Jalilvand, H., Bahmanyar, M.A., & Poormajidian, M.R. (2010). Distribution and pattern of earthworms in relation with some physical and chemical soil properties. *Pajouhesh va Sazandegi in Agronomy*, 83, 18-27.
- Lawton, R.O. (1990). Canopy gaps and light penetration into a wind-exposed tropical lower montane rain forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 659–667.
- Lee, K.E. (1985). *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*, Academic Press: Sydney.
- Lee, R. (1978). *Forest Microclimatology*. New York, Columbia University Press.
- Marinissen, J.C.Y., & De Ruiter, P.C. (1993). Contribution of earthworms to carbon and nitrogen cycling in agro ecosystems, Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 47, 59-74.
- Moghimian, N., & Kooch, Y. (2013). The Effect some of physiographic factors and physicochemical features of Hornbeam forest ecosystem on earthworms biomass. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(2), 1-21.
- Muys, B., & Granval, P. (1997). Earthworms as bio-indicators of forest site quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 323–328.
- Nabiollahi, K., Haidari, A., & Taghizadeh-Mehrjerdi, R. (2014). Digital mapping of soil texture using regression tree and artificial neural network in Bijar, Kurdistan. *Journal of Water and Soil*, 28(5), 1025-1036.
- Nachtergale, L., Ghekiere, K. Schrijver, A.D. Muys, B. Luysaert, S. & Lust, N. (2002). Earthworm biomass and species diversity in wind throw sites of a temperate lowland forest, *Pedobiologia*, 46: 440–451.
- Nana-Osi, K.M., Joann K.W., & Suzelle, B. 2008. Earthworm abundance related to soil physicochemical and microbial properties in Accra, Ghana. *Africa Journal of Agricultural Research*, 3(3), 186-194.

- Pastor, J., Aber, J.D., & McClaugherty, C.A. (1984). Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. *Ecology*, 65, 256-268.
- Pfiffner, L., & Mader, P. (1997). Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Biological Agriculture and Horticulture*, 15, 3-10.
- Pizl, V. (1992). Effect of soil compaction on earthworms (Lumbricidae) in apple orchard soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 24, 1573-1575.
- Prescott, C.E., Hope, G.D., & Blevins, L.L. (2003). Effect of gap size on litter decomposition and soil nitrate concentrations in a high-elevation spruce-fir forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 2210-2220.
- Rahmani, R., & Saleh-Rastin, N. (2000). Abundance, vertical distribution and seasonal changes in earthworm population of Oak-Hornbeam, Hornbeam and beech forests in Neka, Caspian forests, Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 53(1), 37-52.
- Renato, A.F. (2005). Gap size measurement: The proposal of a new field method. *Forest Ecology and Management*, 214, 413-419.
- Ritter, E. (2005). Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gaps in a Danish beech (*Fagus sylvatica*) forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 1237-1247.
- Rose, C.J., & Wood, A.W. (1980). Some environmental factors affecting earthworm's populations and sweet potato production in the Tari Basin, Papua New Guinea Highlands. *Papua New Guinea Agriculture Journal*, 3, 1-10.
- Rousseau, G.X., dos Santos Silva, P.R., & Reis de Carvalho, C.J. (2010). Earthworms, ants and other arthropods as soil health indicators in traditional and no-fire agro ecosystems from eastern Brazilian Amazonia. *Acta Zoologica in Meczic*, 2, 117-134.
- Runkle, J.R. (1992). *Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps*. Forest Service (PNW-GTR-283), Portland, 44 pp.
- Shabani, S., Akbarinia, M., Jalali, G., & Aliarab, A.R. (2011). Relationship between soil characteristics and beech regeneration density in canopy gaps with different sizes. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 18(3), 63-77.
- Shakir, H.S., & Dindal, L.D. (1997). Density and biomass of earthworms in forest and herbaceous microecosystems in central New York, North America. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 275-285.
- Timofeev, R. (2004). *Classification and Regression Trees (CART), Theory and applications*. CASE - center of applied statistics and economics Humboldt University, Berlin.
- Tondoh, E.J., Monin, M.L., Tiho S., & Csuzdi, C. (2007). Can earthworms be used as bio indicators of land-use perturbations in semi-deciduous forest? *Biology and Fertility of Soils*, 43, 584-592.
- Uhl, C., Clarck, K., Dezzeo, N., & Maquirini, P. (1988). Vegetation dynamics in Amazonian tree fall gaps. *Ecology*, 69, 751-763.
- Varvani, H., Moradi, M.A., & Varvani, J. (2014). Estimating of monthly evapotranspiration efficiency using regression tree in different climatological region of Iran. *Journal of Water Research in Agriculture*, 27(4), 523-534.
- Vitousek, P.M., & Denslow, J.S. (1986). Nitrogen and phosphorus availability in tree fall gaps of a lowland tropical rainforest. *Journal of Ecology*, 74, 1167-1178.
- Whitmore T.C. (1978). *Gaps in the forest canopy*. In: *Tropical Trees as Living Systems* (Ed. by P.B. Tomlinson & M.H. Zimmerman), Cambridge University Press, Cambridge, 639-655.
- Whitmore, T.C., Brown, N.D., Swaine, M.D., Kennedy, D.K., Goodwin-Bailey, C.I., & Gong, W.K. (1993). Use of hemisphere photographs in forest ecology: measurement of gap size and radiation totals in a Bornean tropical rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 9, 131-151.



Estimation of earthworm biomass in canopy gaps and mixed beech forest

H. Habashi^{1*}, A. Abbasi², R. Rahmani³, and M.H. Moayeri⁴

¹ Assistant Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

² Master of sciences, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

³ Assistant Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

⁴ Assistant Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

(Received: 30 September 2015, Accepted: 3 December 2016)

Abstract

Earthworm biomass is one of the most important quantitative indices of forests soil. Estimating the earthworm biomass in forest soils is often difficult due to changes in soil properties. This study aims at comparing the performance of multiple linear regression and regression tree models in estimating the earthworm biomass in different forest conditions. Earthworm biomass was sampled in 40 forest gaps and adjacent virgin forest. They were then separated from soil using hand-sorting method and weighted in 0.01 gr precision in compartment 32 Shastkolate forest. Physical and chemical soil properties were analyzed by using standard laboratory methods. The best fitted models were specified in multiple linear regression and regression tree models for estimating the earthworm biomass. The fitted models were then validated by using Mean Error (ME), Root Mean Square Error (RMSE) and Relative Error (RE) measures. Soil bulk density and total nitrogen explained 24% of total earthworm biomass variances in virgin forest while canopy area solely explained 66% of total variances in canopy gap. Multiple linear regression models overestimated the earthworm biomass while regression tree model underestimated the biomass in virgin forest but it was precise estimator in canopy gap. According to the results and due to heterogeneity in forest environment, it is recommended the research is done hierarchically for finding the important and effective variables (gap area and soil potassium in the current study) and after the site stratification based on these variables, the relationship between independent and dependent variables is studied.

Keywords: Biomass, Earthworm, Gap area, Regression Tree.