مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال نهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶
ص ۳۱۵-۳۳۱

طرح هندسی جاده و تأثیر آن بر برخی شاخص‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک توده‌های جنگلی مجاور

سعید راهبری سی‌سخت[۱]، محمدهادی معیری[۲*]، احسان عبدی[۳]، رامین رحمانی[۴] و محمدهادی پهلوانی[۵]

[۱] دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
[۲] دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
[۳] دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
[۴] دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
[۵] دانشیار گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۱۷)

چکیده

جاده‌های جنگلی مهم‌ترین زیرساخت برای دسترسی و انجام فعالیت‌های مدیریتی جنگل به حساب می‌آیند و می‌توانند بر توده‌های حاشیه‌ای تأثیر بسزایی داشته باشند. هدف این پژوهش بررسی میزان برد اثر طرح هندسی جاده‌های جنگلی (پیچ، قوس و جادهٔ مستقیم) بر برخی شاخص‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک در توده‌های مجاور آن بود. با در نظر گرفتن سه طرح مختلف هندسی جاده، از کنارهٔ جاده تا عمق ۱۰۰ متری از آن به‌سمت درون جنگل اقدام به اندازه‌گیری فاکتورهای کربن آلی خاک، ازت و حد فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز در خاک جنگل در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری در دو تیپ مختلف جنگلی شد. به‌کمک تجزیهٔ واریانس، مقایسهٔ میانگین‌ها و مدل رگرسیون خط شکسته، اطلاعات به‌دست‌آمده تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان‌دهندهٔ تأثیر معنی‌دار تیپ جنگلی و طرح هندسی جاده بر متغیرهای اندازه‌گیری‌شده بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک، تأثیر جاده بر برخی شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار نبود. نتایج مدل رگرسیون خط شکسته نشان داد که کمترین برد (فاصله) اثر جاده مربوط به حالت مستقیم جاده به میزان ۱۳ متر و بیشترین آن مربوط به داخل پیچ به میزان ۴۲ متر بود. نتایج این تحقیق می‌تواند راهنمایی برای طراحان و ارزیابان جاده‌های جنگلی برای ترسیم بافر اثر جاده در مرحلهٔ طراحی شبکهٔ جاده‌های جنگلی به حداقل رساندن تأثیر جادهٔ جنگلی بر تودهٔ کناری خود باشد.

واژه‌های کلیدی: اثرهای جاده، بیوشیمی خاک، جاده‌های جنگلی، رگرسیون شکسته، طرح هندسی جاده.

مقدمه

زیرساخت‌های حمل‌ونقل بخش جدایی‌ناپذیر توسعهٔ هر کشور محسوب می‌شود. جاده‌ها زیربنای حمل‌ونقل‌اند و تأثیر مستقیمی بر ساختار اکوسیستم‌های اطراف خود دارند. بدون تردید ساختمان خطوط حمل‌ونقل در تخریب اکوسیستم جانبی و بازسازی و پیکربندی دوبارهٔ آن تأثیر بسزایی دارد (Coffin, 2007). به‌طور کلی جاده‌ها بر محیط زنده و غیرزندهٔ اطراف خود اثرگذارند. جنگل‌ها نیز به‌عنوان اکوسیستمی باارزش، پیچیده و حساس از این

تأثیرات مستثناء نیستند. جاده‌های جنگلی در مناطق دارای طرح مدیریتی در ایجاد دسترسی برای اعمال فعالیت‌های مدیریتی کارکرد مهمی دارند. هرچند که جاده‌ها ممکن است سبب افزایش رویش درختان حاشیهٔ خود شوند (Parsakhoo, 2008)، امکان دارد عامل آشفتگی و اختلال در طبیعت نیز باشند (Forman and Alexander, 1998). جاده‌ها همچون دالان‌هایی سبب هجوم آفات، بیماری‌ها و گونه‌های مهاجم می‌شوند (Otto et al., 2013). همچنین کاهش تولید در جنگل (Spellerberg, 1998; Trombulak and Frissell 2000)، ایجاد فرسایش و تولید رسوب (Luce and Black, 1999; Lopez et al., 2009; Rahbari et al., 2014)، جدایی زیستگاه‌های گیاهی و جانوری (Delgado et al., 2013)، کشته شدن حیوانات در سطح جاده در اثر تردد وسایل نقلیه (Coffin, 2007; Forman et al., 2002)، تغییر ترکیب شیمیایی خاک تودهٔ کناری (Azizian et al., 2003; Neher et al., 2013)، تغییر تنوع پوشش گیاهی و زیستی توده‌های جانبی (Arévalo et al., 2005; Lee and Power, 2013)، افزایش حساسیت به آتش‌سوزی (Narayanaraj and Wimberly, 2013) و فرسایش ژنتیکی، و انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری از تأثیرات منفی جاده‌هاست. امروزه گرمایش جهانی و افزایش گازهای گلخانه‌ای از مهم‌ترین نگرانی‌های بشر، به‌خصوص فعالان محیط‌زیست محسوب می‌شود. علاوه‌بر صنایع و خودروها، تغییر مقدار گازهای گلخانه‌ای متأثر از تغییرات خاک مناطق جنگلی و برخی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آن است. جنگل‌ها و جنگلکاری‌ها در ترسیب کربن و کنترل گرمایش زمین نقش مؤثری دارند (Paul et al., 2002). جاده‌های جنگلی با ایجاد تغییر در پوشش و مقدار زیست‌تودهٔ اکوسیستم جانبی خود بر ذخیرهٔ کربن آلی و در نتیجه تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اطراف اثرگذارند (Watkins et al., 2003; Johnston and Johnston 2004; Neher et al., 2013). خاک‌ها بخش مهمی از اکوسیستم به‌شمار می‌روند و تأثیر مهمی در توسعهٔ پوشش گیاهی در مناطق جنگلی دارند. علاوه‌بر اینکه گیاهان و سایر عوامل زندهٔ موجود در جنگل بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اثر می‌گذارند، فعالیت‌های مهندسی اعم از بهره‌برداری و جاده‌سازی به دو صورت ۱. مستقیم: مانند تغییر در شدت نور و دما (Delgado et al., 2007) و ۲. غیرمستقیم: تغییر تنوع و ویژگی‌های گیاهان مجاور (Avon et al., 2010, Otto et al., 2013) نیز بر خصوصیات ذکرشده در خاک جنگل اثر می‌گذارند. اکوسیستم‌های جنگلی هم در جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر و هم در ایجاد شرایط مناسب برای چرخهٔ کربن و ذخیرهٔ آن در خاک جنگل تأثیر بسزایی دارند (Lal, 2004). کربن آلی خاک یکی از شاخص‌های شیمیایی است که قابلیت دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را تسهیل می‌کند و بر کیفیت خاک مؤثر است. از طرفی یافته‌های اخیر نشان داده که افزایش ازت خاک بر تثبیت کربن در خاک‌های اکوسیستم‌های جنگلی مناطق معتدل اثر مثبتی دارد (Rodriguez et al., 2014). ازآنجا که امروزه فعالیت‌های انسان در مناطق جنگلی، سبب تغییر چرخه‌های کربن و نیتروژن در خاک شده، فهم تعامل‌های بین این دو عنصر به موضوعی ضروری تبدیل شده است (Gruber and Galloway, 2008; Liu and Greaver, 2010). علاوه‌بر این، با توجه به اینکه فعالیت‌های آنزیمی خاک اطلاعات مفیدی دربارهٔ وضعیت باکتریایی و شرایط بیوشیمیایی خاک‌ها در اختیار قرار می‌دهند، با نام حسگر تجزیهٔ مواد آلی شناخته می‌شوند (Aon and Colaneri, 2001; Baum et al., 2003). همهٔ خاک‌ها شامل گروهی از آنزیم‌ها هستند که فرایندهای حیاتی خاک را تعیین می‌کنند (Mclaren, 1975). دهیدروژناز خاک یکی از عناصر اصلی آنزیم‌های خاک است که در توالی کامل مسیرهای بیوشیمیایی از چرخهٔ بیوژئوشیمیایی خاک،

مشارکت کرده و آن را تضمین می‌کند (Veres et al., 2013). اوره‌آز نیز به‌طور گسترده در طبیعت وجود دارد و کارکرد مهمی در چرخهٔ C/N دارد (Balderian and Stursová, 2011)، این آنزیم خاک با هیدرولیز اوره، آمونیاک تولید می‌کند (Zantua and Bremner, 1977). اهمیت سنجش اوره‌آز در خاک برای ارزیابی هیدرولازها در خاک است که می‌توانند در فرایند تجزیه مؤثر باشند (Matinizadeh et al., 2012). مادهٔ آلی منبع مهمی برای میکروارگانیسم‌های خاک و افزایندهٔ فعالیت آنها به‌حساب می‌آید؛ تغییرات ازت نیز همبستگی مستقیم و مثبتی با فعالیت آنزیم اوره‌آز دارد (Alizadeh et al., 2013). جاده‌های جنگلی در طول مسیر، بسته به شرایط منطقه (به‌خصوص در جنگل‌های کوهستانی) دارای تغییرات متعددی در طرح هندسی خود هستند. از این‌رو، با توجه به مطالب پیش‌گفته، گمان می‌رود طرح‌های مختلف هندسی جاده می‌تواند با تأثیر بر چرخهٔ کربن و نیتروژن خاک بر فعالیت‌های آنزیمی خاک نیز اثر بگذارد، اما مقدار و برد این اثر درون جنگل با توجه به نوع طرح هندسی جاده (پیچ، قوس یا مسیر مستقیم) بر ما پوشیده است. هدف این پژوهش بررسی میزان برد اثر جاده‌های جنگلی با در نظر گرفتن طرح هندسی آن، بر برخی شاخص‌های شیمیایی (کربن آلی و ازت) و بیوشیمیایی خاک (فعالیت‌های دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز) در توده‌های مجاور در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک جنگل بود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

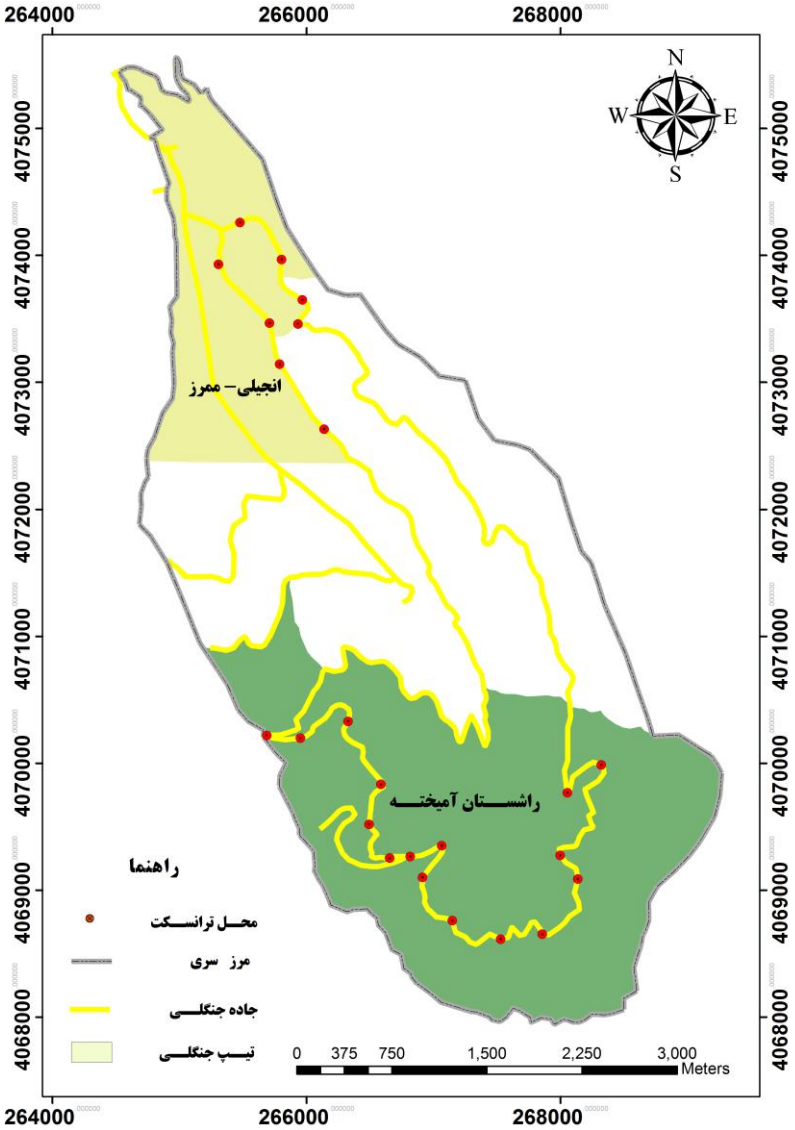
پژوهش حاضر در طول شبکهٔ جادهٔ سری ۱ جنگل آموزشی و پژوهشی طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا متعلق به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. این جنگل با مساحت ۱۷۱۳/۳ هکتار بین ″۶ ′۴۸ °۳۶-″۲۷ ′۴۳ °۳۶ عرض جغرافیایی و ″۲۶ ′۲۱ °۵۴-″۵۷ ′۲۴ °۵۴ طول جغرافیایی قرار دارد. این سری ۳۳ پارسل دارد و دارای شبکهٔ جاده‌ای به طول ۳۱ کیلومتر و با تراکم ۱۸/۱۳ متر در هر هکتار است. فاصلهٔ متوسط جاده‌ها در سری ۱ حدود ۵۵۱/۱۸ متر است و با توجه با اطلاعات مربوط به پروانه‌های قطع و ساخت جاده‌ها به‌طور متوسط ۲۶ سال از زمان ساخت جاده‌های آن می‌گذرد. این سری از شمال با ارتفاع ۲۱۰ متری از سطح دریا به طرف جنوب با ارتفاع ۱۰۱۰ متر گسترده شده است. جهت غالب آن شمال و متوسط بارندگی سالانه حدود ۶۸۶/۲ میلی‌متر است؛ بیشترین روزهای بارانی در بهمن و کمترین روزهای بارانی در مرداد است. با توجه به منحنی آمبروترمیک منطقه، ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور جزو ماه‌های خشک سال محسوب می‌شوند (Rostamian et al., 2012).

شیوهٔ اجرای پژوهش

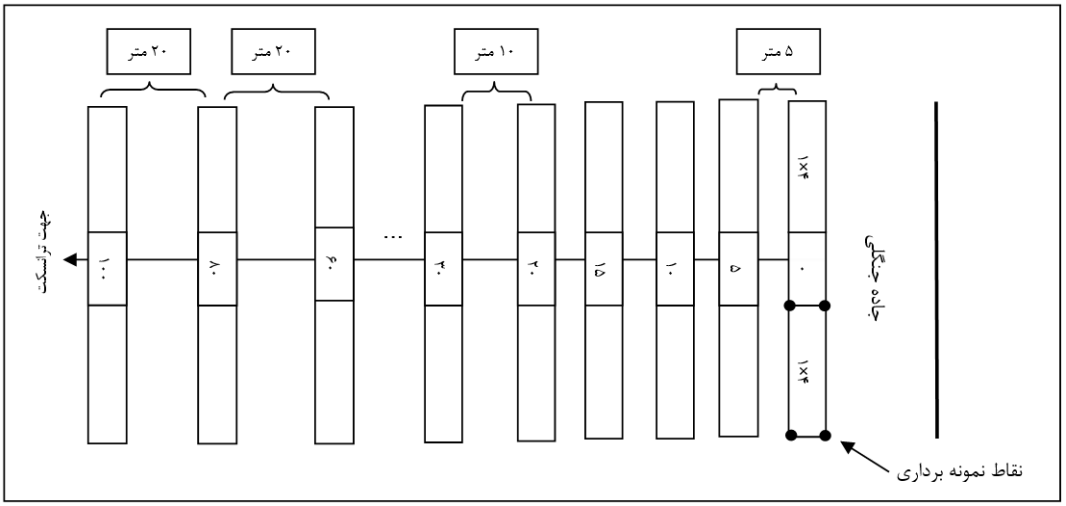
به‌منظور اندازه‌گیری مشخصه‌های مورد نظر طی سه مرحلهٔ پیمایش در طول جادهٔ منطقهٔ تحقیق، در نهایت ۲۴ نقطه در دو تیپ، انجیلی- ممرز و راشستان مخلوط با توجه به نوع طرح هندسی راه، در طول جادهٔ جنگلی سری ۱ جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا گرگان انتخاب شد (شکل ۱).

در محل هر نقطه، از مرکز جاده به‌سمت درون جنگل ترانسکت‌هایی به طول ۱۰۰ متر (Delgado et al., 2007, Avon et al., 2010) عمود بر محور وسط جاده، در دو سمت دامنهٔ بالا و پایین‌دست جاده در نظر گرفته شد. در طول هر ترانسکت پلات‌هایی با ابعاد ۱×۱۰ متری در فواصل ۰ (لبهٔ جاده)، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متری (Auerbach et al., 1997, Avon et al., 2013) انتخاب و یک زیرپلات ۴×۱ متری (Tahmasebi et al., 2012) (به‌گونه‌ای که عرض آن در جهت شیب و طول آن در جهت منحنی‌های میزان

منطقه بود) به‌صورت تصادفی انتخاب شد (شکل ۲). در چهار گوشهٔ هر پلات و در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری (Matinizadeh et al., 2008) نمونه‌های خاک در سه ساعت ۹ صبح ۱۲ ظهر و ۱۵ عصر در روزهای خشک و دارای هوای صاف، برداشت و برای اندازه‌گیری کربن آلی، ازت، و دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز با قرار دادن در داخل یخدان به محل آزمایشگاه منتقل شد. پس از گذراندن نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر، از روش‌های والکی و بلک (Walkley and Black, 1934) و کجلدال (Bremmer and Mulvaney, 1982) به‌ترتیب برای اندازه‌گیری کربن آلی و مقدار ازت خاک استفاده شد. با استفاده از واکنش آنزیم- سوبسترا و اسپکتروفتومتر شدت فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز برحسب میکروگرم تری فنیل فورمازان ($\mu g\ TPF\ g^{-1}\ soil\ h^{-1}$)، و اوره‌آز برحسب میکروگرم ازت ($\mu g\ N\ g^{-1}\ soil\ h^{-1}$) اندازه‌گیری شد (Kandeler, 1996).



شکل ۱- موقعیت سری ۱ جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیای گرگان، وضعیت جادهٔ جنگلی و محل ترانسکت‌ها در تیپ‌های مختلف جنگلی



شکل ۲- وضعیت پلات‌ها نسبت به جاده، فاصلهٔ آنها از هم و نقاط نمونه‌برداری

روش تحلیل

بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف انجام گرفت. با استفاده از تجزیهٔ واریانس میزان معنی‌داری تأثیر فاصله از جاده بر هر یک از عامل‌های مختلف ارزیابی شد (Burke and Nol, 1998; Zheng and Chen, 2000; Harper and Macdonald, 2001). از مقایسهٔ میانگین و گروه‌بندی دانکن برای یافتن اختلاف بین میانگین‌ها استفاده شد (Taylor and Burns, 2002). با توجه به اینکه هدف پژوهش، یافتن نقطه‌ای درون جنگل برای تعیین میزان برد اثر جادهٔ جنگلی بود، از رگرسیون خط- شکسته[1](رگرسیون تکه‌ای[2]) برای این منظور استفاده شد (Ryan and Port, 2007). تمامی آزمون‌ها و محاسبه‌های آماری در محیط برنامهٔ SASWin v.9.1 انجام گرفت و رگرسیون خط شکسته در ابتدا با برنامه‌نویسی در محیط (Proc NLIN method) SAS و سپس رسم آن توسط نرم‌افزار Microsoft excel 2007 به کمک افزونهٔ Solver[3] صورت پذیرفت (Vedenov and Pesti, 2014).

نتایج

نتایج آنالیز تجزیهٔ واریانس کربن آلی و ازت در دو عمق مختلف نشان‌دهندهٔ تأثیر معنی‌دار تیپ جنگلی (به‌جز تأثیر بر ازت در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک)، طرح هندسی جاده، فاصله از جاده و سمت بالا و پایین جاده بر کربن آلی و ازت خاک در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری بود. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهندهٔ معنی‌دار نبودن اثر فاصله از جاده در دو سمت بالا و پایین جاده با توجه به طرح هندسی جاده در هر تیپ جنگلی بر مقدار کربن آلی و ازت خاک بود (جدول ۱).

نتایج تجزیهٔ واریانس مربوط به فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوزه‌آز در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک نشان‌دهندهٔ تأثیر معنی‌دار تیپ جنگلی، طرح هندسی جاده، فاصله از جاده و سمت بالادست و پایین‌دست جاده، بر فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز (در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک) و اوره‌آز در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک بود (جدول ۲). هرچند زمان برداشت با توجه به طرح‌های مختلف جاده در دو تیپ مختلف اثر معنی‌داری داشت، نتایج این تحقیق نشان

1. Broken Line Analysis
2. Piecewise Regression
3. Adds-on

داد کـه زمـان برداشـت در طـول روز در دو سـمت بالادست و پـایین‌دسـت جـاده در فواصـل مختلـف از جاده اثر معنی‌داری بر فعالیت دو آنـزیم بررسـی‌شـده نداشت. همچنین نتایج نشان‌دهنـدۀ معنـی‌دار نبـودن تـأثیر فاصـله از جـاده در دو سـمت بالادسـت و پایین‌دست آن بر فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متـری خـاک بسـته بـه طـرح هندسی جاده و تیپ جنگلی بود.

جدول ۱- نتایج تجزیۀ واریانس کربن آلی و ازت در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک در فواصل مختلف نسبت به جاده با طرح‌های هندسی مختلف در تیپ‌های درختی گوناگون

منبع تغییر (SV)	درجۀ آزادی	کربن عمق ۰-۱۰ cm	کربن عمق ۱۰-۲۰cm	ازت عمق ۰-۱۰cm	ازت عمق ۱۰-۲۰cm
تیپ جنگلی	۱	۳۳/۵۵**	۷/۶۶**	۳/۳۹**	۰/۷۱^{ns}
اثر متقابل طرح هندسی جاده × تیپ جنگلی	۴	۴۳/۴۳**	۲۳/۴۷**	۱۶/۳۷**	۹/۹۲**
اثر متقابل فاصله از جاده× طرح هندسی جاده در تیپ جنگلی	۶۶	۲۰/۳۶**	۲۴/۴۱**	۱۶/۰۱**	۱۱/۷۰**
اثر متقابل سمت × طرح هندسی جاده در تیپ جنگلی	۶	۸/۳۶**	۲۱/۶۷**	۱۷/۷۶**	۵/۹۶**
اثر متقابل فاصله از جاده ×سمت در طرح هندسی جاده در تیپ جنگلی	۶۶	۰/۵۳^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۷۷^{ns}	۰/۸۳^{ns}
خطا	۵۰۴	۰/۵۸	۰/۲۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns معنی‌دار نبودن

جدول ۲- نتایج تجزیۀ واریانس فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک در فواصل مختلف نسبت به جاده با طرح‌های هندسی مختلف در تیپ‌های درختی گوناگون

منبع تغییر (SV)	درجه آزادی	دهیدروژناز عمق ۰-۱۰cm	دهیدروژناز عمق ۱۰-۲۰cm	اوره‌آز عمق ۰-۱۰cm	اوره‌آز عمق ۱۰-۲۰ cm
تیپ جنگلی	۱	۲۰/۱۸**	۱۶/۵۷**	۷/۲۲**	۰/۳۲^{ns}
اثر متقابل طرح هندسی جاده × تیپ	۴	۲/۷۸*	۱۹/۶۶**	۱۳۲/۴۰**	۲۶/۹۰**
اثر متقابل فاصله از جاده× طرح هندسی جاده در تیپ	۶۶	۱۳۴/۲۸**	۶۲/۶۱**	۸۹/۳۲**	۹۴/۸۱**
اثر متقابل زمان برداشت × طرح هندسی جاده در تیپ	۱۲	۶۵/۴۱**	۲۷/۱۶**	۱۱/۹۰**	۱۶/۵۵^{ns}
اثر متقابل جهت × طرح هندسی جاده در تیپ	۶	۲۳/۹۵**	۱۳/۲۶**	۷۱/۷۹**	۲۲/۱۲**
اثر متقابل زمان برداشت×فاصله از جاده در طرح هندسی جاده در تیپ	۱۳۲	۱/۱۹^{ns}	۰/۵۴^{ns}	۱/۰۰^{ns}	۰/۸۷^{ns}
اثر متقابل فاصله از جاده×جهت در طرح هندسی جاده در تیپ	۶۶	۱/۶۱*	۰/۶۵^{ns}	۲/۵۹**	۱/۱۰^{ns}
اثر متقابل زمان برداشت ×جهت در طرح هندسی جاده در تیپ	۱۲	۱/۷۳^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۱/۱۷^{ns}	۰/۹۷^{ns}
اثر متقابل زمان برداشت ×فاصله×جهت در طرح هندسی جاده در تیپ	۱۳۲	۰/۲۰^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۶۷^{ns}	۰/۲۳^{ns}
خطا	۱۵۸۴	۱/۲۲	۱/۱۱	۳/۲۵	۱/۳۳

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns معنی‌دار نبودن

نتایج مقایسهٔ میانگین‌های مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده در خاک جنگل نشان‌دهندهٔ تأثیر طرح هندسی جاده و دو سمت بالادست و پایین‌دست جاده بر هر کدام از مؤلفه‌های بررسی‌شده بود. میزان هر کدام از مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده، در بالادست حالت مستقیم جاده به‌سمت درون پیچ افزاینده بود؛ درحالی که این روند در پایین‌دست جاده وجود نداشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش عمق خاک، اثر هر کدام از طرح‌های هندسی جاده بر مؤلفه‌های اندازه‌گیری‌شده کاهش می‌یابد (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین تأثیر دو سمت جاده با توجه به وضعیت آن بر مقدار کربن آلی و ازت در هر دو تیپ و عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک

	طرح هندسی	کربن آلی (۱۰-۰ cm)			کربن آلی (۲۰-۱۰ cm)			ازت (۱۰-۰ cm)			ازت (۲۰-۱۰ cm)		
		مستقیم	قوس	پیچ	مستقیم	قوس	پیچ	مستقیم	قوس	پیچ	مستقیم	قوس	پیچ
انجیلی-	بالادست	۳/۹۷^{a}	۴/۲۹^{a}	۵/۹۸^{a}	۲/۹۳^{a}	۳/۲۳^{a}	۳/۵۷^{a}	۰/۳۶۸^{a}	۰/۴۰۹^{a}	۰/۴۹۸^{a}	۰/۱۶۶^{a}	۰/۱۴۶^{a}	۰/۲۰۲^{a}
ممرز	پایین‌دست	۱/۶۹^{b}	۲/۸۲^{a}	۲/۹۵^{b}	۱/۶۰^{a}	۱/۵۱^{a}	۱/۳۴^{b}	۰/۲۱۵^{a}	۰/۱۹۵^{b}	۰/۲۱۵^{b}	۰/۱۴۷^{a}	۰/۱۶۲^{a}	۰/۱۵۸^{a}
	بالادست	۲/۰۸^{a}	۲/۷۰^{a}	۳/۳۱^{a}	۱/۹۴^{a}	۲/۲۴^{a}	۲/۶۱^{a}	۰/۲۵۰^{a}	۰/۲۳۰^{a}	۰/۳۳۲^{a}	۰/۱۶۷^{a}	۰/۱۳۱^{a}	۰/۲۳۰^{a}
راشستان	پایین‌دست	۱/۰۱^{b}	۲/۰۵^{b}	۲/۶۷^{b}	۱/۶۰^{a}	۱/۶۸^{b}	۲/۲۲^{b}	۰/۱۴۲^{b}	۰/۱۷۱^{b}	۰/۲۱۸^{b}	۰/۱۶۳^{a}	۰/۱۳۰^{a}	۰/۱۵۶^{b}

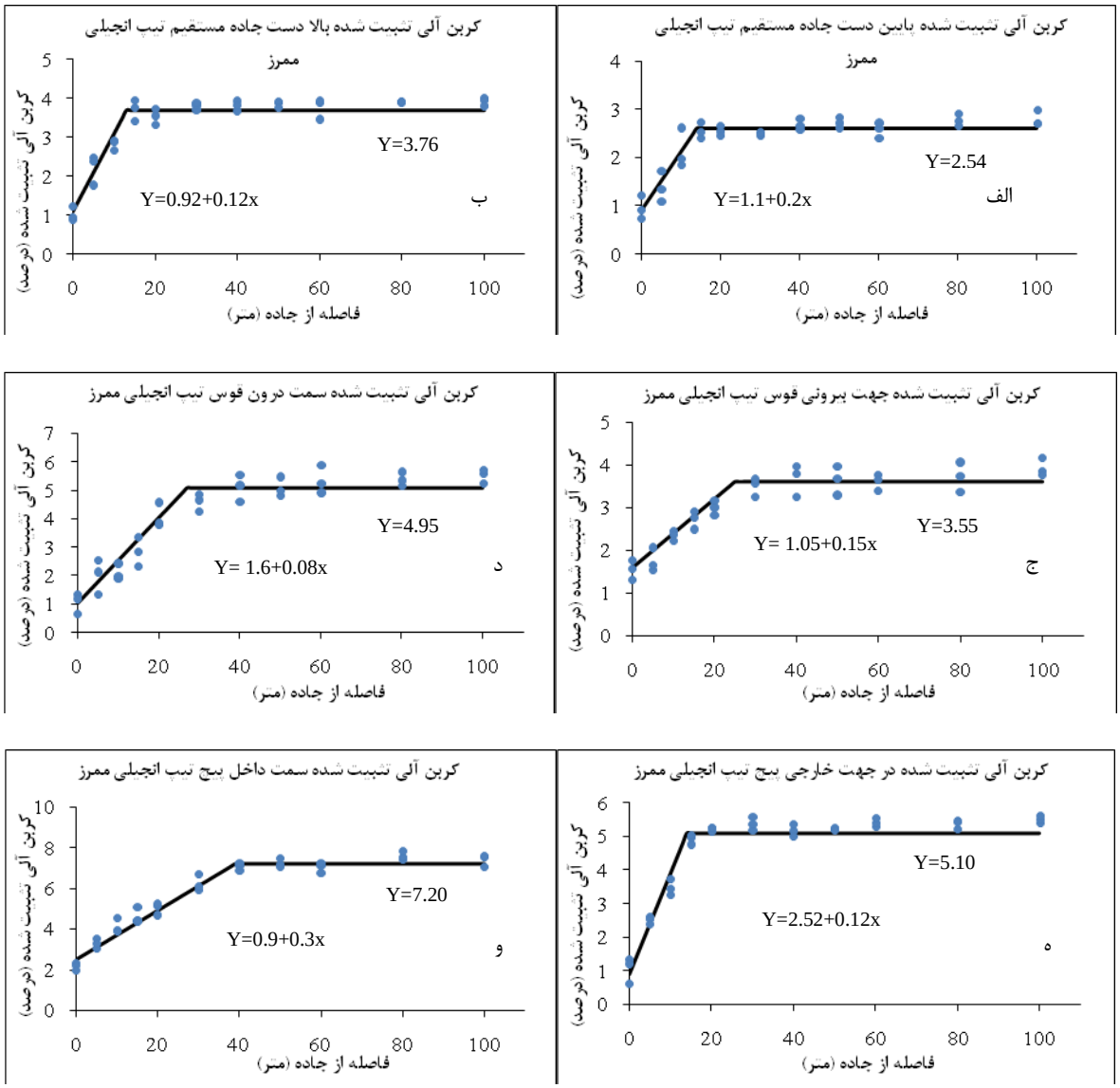
حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندهٔ نبود تفاوت آماری میانگین‌ها در سطح آماری ۵ درصد است.

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین تأثیر دو سمت جاده با توجه به وضعیت آن بر فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در هر دو تیپ و عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک

	طرح هندسی	دهیدروژناز (۱۰-۰ cm)			دهیدروژناز (۲۰-۱۰ cm)			اوره‌آز (۱۰-۰ cm)			اوره‌آز (۲۰-۱۰ cm)		
		مستقیم	قوس	پیچ	مستقیم	قوس	پیچ	مستقیم	قوس	پیچ	مستقیم	قوس	پیچ
انجیلی-	بالادست	۷/۴۱^{a}	۷/۸۱^{a}	۸/۳۳^{a}	۵/۰۴^{a}	۵/۵۰^{a}	۵/۲۶^{a}	۷/۹۰^{a}	۸/۵۳^{a}	۹/۹۶^{a}	۳/۹۵^{a}	۴/۰۰^{a}	۴/۷۳^{a}
ممرز	پایین‌دست	۵/۱۶^{a}	۵/۲۰^{b}	۵/۸۲^{b}	۲/۹۶^{a}	۳/۴۲^{a}	۲/۸۳^{a}	۵/۴۵^{a}	۵/۸۵^{b}	۶/۰۲^{b}	۳/۷۷^{a}	۳/۵۰^{a}	۳/۵۷^{a}
	بالادست	۵/۳۶^{a}	۵/۹۶^{a}	۶/۵۷^{a}	۳/۳۴^{a}	۳/۱۸^{a}	۳/۴۵^{a}	۶/۲۸^{a}	۷/۶۲^{a}	۸/۴۱^{a}	۳/۷۳^{a}	۴/۱۷^{a}	۴/۷۳^{a}
راشستان	پایین‌دست	۵/۳۴^{a}	۵/۳۳^{a}	۴/۶۹^{b}	۳/۱۰^{a}	۳/۰۷^{a}	۲/۸۱^{b}	۶/۰۱^{a}	۷/۰۰^{a}	۷/۱۵^{b}	۳/۵۶^{a}	۳/۸۰^{a}	۳/۶۳^{a}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندهٔ نبود تفاوت آماری میانگین‌ها در سطح آماری ۵ درصد است.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خط شکسته (رگرسیون تکه‌ای) نشان داد که میزان هر کدام از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در خاک تودهٔ اطراف جادهٔ جنگلی با حرکت از سمت جاده به درون جنگل ابتدا افزاینده است و سپس مقدار به‌نسبت ثابتی می‌رسد. همچنین نتایج حاصل از مدل رگرسیونی تکه‌ای، نشان‌دهندهٔ بیشتر بودن تأثیر سمت داخلی پیچ جاده در برد اثر آن به درون تودهٔ جانبی برای همهٔ شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده بود. برای مثال، اثر طرح هندسی جادهٔ جنگلی بر کربن آلی تثبیت‌شده در خاک تودهٔ کناری برای تیپ جنگلی انجیلی- ممرز در کمترین میزان برای سمت پایین‌دست جادهٔ مستقیم و به میزان ۱۳ متر و در بیشترین میزان برای منطقهٔ داخلی پیچ و به اندازهٔ ۳۹ متر بود (شکل ۳).



شکل ۳ - مدل رگرسیون خط شکسته (رگرسیون تکه‌ای) درصد کربن تثبیت‌شده
با توجه به طرح هندسی راه و میزان فاصله از جاده در تیپ انجیلی- ممرز

در ادامه با توجه به تعداد زیاد شکل‌های مربوط به مدل رگرسیونی خط شکسته، دیگر نتایج در جدول‌های (۵ و ۶) به‌ترتیب برای تیپ‌های انجیلی- ممرز و راشستان آمیخته آورده شده است.

همان‌گونه که در جدول‌های بالا ملاحظه می‌شود، بیشترین میزان برد (فاصله) اثر جادهٔ جنگلی در تودهٔ حاشیه‌ای بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز و به میزان ۴۲ متر برای منطقهٔ داخل پیچ (جدول ۵) و کمترین آن به میزان ۱۳ متر برای منطقهٔ پایین‌دست جادهٔ مستقیم مربوط به کربن آلی و ازت موجود در خاک بود (جدول ۶).

بحث

جاده‌های جنگلی مهم‌ترین زیرساخت برای دسترسی به مناطق مختلف جنگل به‌منظور فعالیت‌های مدیریتی، گردشگری و حفاظتی هستند؛

با وجود این ممکن است سبب تغییر و ایجاد آشفتگی در این جنگل‌ها شوند و بر عملکرد اکوسیستم تأثیر بگذارند. در این پژوهش مشاهده شد که با فاصله گرفتن از جاده، خصوصیات شیمیایی و بیوشیمیایی خاک مناطق جنگلی تغییر کرد و مقدار کربن آلی، ازت و فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز افزایش یافت. جاده‌های جنگلی در طول مسیر خود، خاک و پوشش گیاهی را بر هم می‌زنند و موجب حذف بخشی از پوشش گیاهی جنگل می‌شوند (Mrotzek et al., 2000). این جاده‌ها، مقدار رواناب و نرخ فرسایش را در اطراف خود افزایش می‌دهند (Rahbari et al., 2013) که ممکن است موجب جابه‌جایی بخش زیادی از مواد و املاح پیرامون جاده به فواصل دورتر شود. همچنین با توجه به حذف تاج و تغییر وضعیت تاج‌پوشش درختان در اطراف جاده‌های جنگلی، مقدار مواد آلی واردشده از طریق ریزش لاشبرگ گیاهان و تجزیهٔ مواد آلی در اطراف این جاده‌ها متأثر از جاده خواهد بود (Delgado et al., 2007). وسایل نقلیهٔ به‌طور معمول سنگین نیز هنگام حمل چوب‌های جنگلی جریان هوای شدیدی را در اطراف خود تولید می‌کنند که سبب جابه‌جایی برگ‌های خزان‌کردهٔ درختان و شاخه‌های سبک در اطراف جاده به فواصل دورتر می‌شود (Sahlodin et al., 2007; Sullivan et al., 2009). با توجه به اینکه کربن آلی و ازت خاک در چرخهٔ اکوسیستم جنگل اغلب از طریق بقایای شاخ‌وبرگ گیاهان تأمین می‌شود، می‌تواند توجیه‌کنندهٔ نتایج به‌دست آمده باشد.

جدول ۵- مدل رگرسیون خط شکسته برای میزان برد اثر جاده بر خصوصیات شیمیایی و بیوشیمیایی خاک جنگلی در تیپ انجیلی- ممرز (X فاصله از جاده و Y میزان برآورد متغیر)

متغیر اندازه‌گیری‌شده	طرح جاده	مدل رگرسیونی خط - شکسته	حداکثر برد اثر جاده درون توده (متر)	ضریب تبیین (R^2)	مجموع مربعات خطا (SSE)	معنی‌داری (P.value)
ازت	مستقیم (بالادست)	Y=0.09+0.005X	۱۹	۹۱/۹۰	۰/۰۱	۰/۰۰۳**
ازت	مستقیم (پایین‌دست)	Y=0.08+0.006X	۱۵	۸۲/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱**
ازت	داخل قوس	Y=0.057+0.008X	۲۶	۹۲/۶۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱**
ازت	بیرون قوس	Y=0.07+0.011X	۲۵	۹۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۰۱**
ازت	داخل پیچ	Y=0.18+0.017X	۳۸	۹۸/۴۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱**
ازت	بیرون پیچ	Y=0.07+0.01X	۱۷	۹۴/۸۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	مستقیم (بالادست)	Y=1.44+0.24X	۱۹	۹۸/۰	۰/۵۲	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	مستقیم (پایین‌دست)	Y=0.98+0.19X	۱۸	۹۷/۱۱	۱/۳۳	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	داخل قوس	Y=2.22+0.16X	۲۳	۹۴/۲۰	۱/۰۳	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	بیرون قوس	Y=1.32+0.14X	۲۲	۹۰/۴۲	۳/۶۸	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	داخل پیچ	Y=1.18+0.16X	**۴۲**	۹۵/۶۰	۲/۵۰	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	بیرون پیچ	Y=0.46+0.16X	۲۳	۹۴/۲۱	۱/۰۳	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	مستقیم (بالادست)	Y=3.9+0.4X	۱۹	۹۵/۶۶	۳/۴۰	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	مستقیم (پایین‌دست)	Y=1.36+0.23X	۱۸	۹۲/۳۱	۵/۳۸	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	داخل قوس	Y=3.72+0.21X	۲۸	۹۴/۰۰	۳/۲۱	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	بیرون قوس	Y=1.9+0.15X	۲۶	۹۰/۷۰	۵/۷۰	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	داخل پیچ	Y=2.64+0.24X	۳۹	۹۸/۸۰	۱/۵۶	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	بیرون پیچ	Y=1.44+0.27X	۱۸	۹۶/۷۰	۰/۸۴	۰/۰۰۱**

جدول ۶- مدل رگرسیون خط شکسته برای میزان برد اثر جاده بر خصوصیات شیمیایی و بیوشیمیایی خاک جنگلی در تیپ راشستان آمیخته (X فاصله از جاده و Y میزان برآورد متغیر)

متغیر اندازه‌گیری‌شده	طرح جاده	مدل رگرسیونی خط - شکسته	حداکثر برد اثر جاده درون توده (متر)	ضریب تبیین (R^2)	مجموع مربعات خطا (SSE)	معنی‌داری (P.value)
کربن آلی	مستقیم (بالادست)	Y=0.59+0.14X	۱۴	۹۰/۰	۳/۶۵	۰/۰۰۱**
کربن آلی	مستقیم (پایین‌دست)	Y=0.66+0.13X	**۱۳**	۸۷/۴۰	۲/۳۱	۰/۰۰۱**
کربن آلی	داخل قوس	Y=1.12+0.12X	۱۹	۸۷/۰۰	۳/۷۸	۰/۰۰۱**
کربن آلی	بیرون قوس	Y=0.73+0.11X	۱۷	۸۹/۱۰	۲/۳۷	۰/۰۰۱**
کربن آلی	داخل پیچ	Y=0.9+0.13X	۳۰	۹۴/۳۰	۶/۲۸	۰/۰۰۱**
کربن آلی	بیرون پیچ	Y=4.1+0.16X	۲۰	۹۴/۳۰	۴/۰۳	۰/۰۰۱**
ازت	مستقیم (بالادست)	Y=0.094+0.014X	۱۴	۹۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۰۱**
ازت	مستقیم (پایین‌دست)	Y=0.065+0.015X	**۱۳**	۹۱/۵۰	۰/۰۳	۰/۰۰۱**
ازت	داخل قوس	Y=0.148+0.01X	۲۰	۹۲/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۱**
ازت	بیرون قوس	Y=0.047+0.019X	۱۸	۹۷/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۰۱**
ازت	داخل پیچ	Y=0.168+0.012X	۳۶	۹۱/۶۰	۰/۱۵	۰/۰۰۱**
ازت	بیرون پیچ	Y=0.140+0.02X	۱۸	۹۳/۷۰	۰/۰۶	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	مستقیم (بالادست)	Y=1.2+0.3X	۱۶	۸۵/۰۵	۳۳/۸۵	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	مستقیم (پایین‌دست)	Y=1.7+0.25X	۱۴	۸۷/۰۰	۲۰/۹۰	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	داخل قوس	Y=1.25+0.25X	۲۱	۸۶/۰۰	۱۹/۴۲	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	بیرون قوس	Y=1.5+0.25X	۱۸	۹۰/۶۰	۹/۴۰	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	داخل پیچ	Y=1.74+0.24X	۲۹	۹۱/۷۰	۲۸/۶۳	۰/۰۰۱**
دهیدروژناز	بیرون پیچ	Y=1.64+0.24X	۲۱	۹۳/۴۲	۹۳/۴۲	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	مستقیم (بالادست)	Y=1.76+0.43X	۱۸	۸۳/۷۰	۹۷/۵۱	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	مستقیم (پایین‌دست)	Y=2.19+0.33X	۱۷	۹۱/۱۳	۹۱/۱۳	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	داخل قوس	Y=3.08+0.31X	۲۲	۸۹/۵۰	۲۷/۴۰	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	بیرون قوس	Y=2.61+31X	۱۹	۸۸/۲۰	۲۶/۸۰	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	داخل پیچ	Y=2.94+0.26X	۳۱	۸۸/۳۰	۵۹/۴۴	۰/۰۰۱**
اوره‌آز	بیرون پیچ	Y=2.12+0.41X	۱۸	۹۴/۸۲	۱۹/۱۰	۰/۰۰۱**

Schuman et al. (2002) بیان کرده‌اند که فعالیت‌هایی نظیر جاده‌سازی که سبب به‌هم خوردن خاک و پراکندگی ذرات خاک می‌شوند، کاهش کربن آلی خاک در اطراف جاده را در پی دارند که نتایج تحقیق حاضر نیز مؤید همین موضوع است. خصوصیات بیوشیمیایی خاک در مقایسه با خواص فیزیکی و شیمیایی آن حساس‌ترند و به تغییرات محیطی به‌سرعت واکنش نشان می‌دهند (Nannipieri et al., 1990) بنابراین، این خصوصیات اغلب به‌عنوان شاخص‌های کیفیت خاک کاربرد دارند (Shi et al., 2006). فعالیت‌های آنزیمی نیز از جمله خصوصیات خاک است که به تغییرات و تنش‌های

محیطی به‌سرعت واکنش نشان داده می‌دهند و کارهای مدیریتی در مناطق جنگلی ممکن است سبب تغییر در فعالیت آنها شود (Sinsabaugh et al., 2002; Kandeler, 2007; Kumar et al., 2013). خاک جنگل به‌طور معمول انباشته از مواد آلی است که به‌صورت لاشبرگ گیاه در سطح خاک وجود دارند؛ بنابراین با توجه به انبوه مواد آلی در آن، آنزیم‌های شرکت‌کننده در تجزیهٔ مواد آلی، کارکرد مهمی در خاک‌های جنگلی دارند (Baldrian and Štrasová, 2011). از طرفی مواد آلی خاک تأمین‌کنندهٔ منابع غذایی میکروارگانیسم‌های خاک‌اند و فعالیت آنها به مقدار مادهٔ آلی خاک بستگی دارد (Błońska 2010; Veres et al., 2013). با فاصله گرفتن از جادهٔ جنگلی به‌سمت درون توده، مقدار مادهٔ آلی خاک نیز افزایش یافت؛ افزایش مقدار مادهٔ آلی خاک سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شد و فعالیت آنزیم دهیدروژناز را افزایش داد. علاوه‌بر این با توجه به اینکه فعالیت‌های مهندسی در جنگل سبب افزایش فشردگی خاک در مناطق مجاور آن می‌شود، این فشردگی به کاهش فعالیت‌های میکروبی خاک می‌انجامد و بر جوامع میکروبی آن و فعالیت آنزیم دهیدروژناز مؤثر است (Breland & Hansen, 1996)؛ این موضوع توجیه‌کنندهٔ کمتر بودن فعالیت این آنزیم در فواصل نزدیک به جاده است. تغییرات ازت در اطراف جادهٔ جنگلی نیز مانند مادهٔ آلی خاک روند مشابهی را نشان داد؛ به‌گونه‌ای که کمترین مقدار آن در فواصل نزدیک به جاده مشاهده شد و با افزایش فاصله از جاده به سمت درون جنگل بر مقدار ازت خاک افزوده شد. جاده‌های جنگلی از مهم‌ترین عوامل تغییر میزان نور ورودی به جنگل از طریق باز کردن تاج‌پوشش درختان در طول مسیر خود هستند (Parendes and Jones, 2000; Buckley et al., 2003; Watkins et al., 2003) که سبب افزایش درجهٔ حرارت در اطراف این جاده‌ها می‌شود (Delgado et al., 2007; Forman et al., 2002)، علاوه‌بر این، افزایش رطوبت ناشی از حذف تاج درختان (به‌علت کاهش باران‌ربایی[1]) سبب کاهش سنتز ازت در اطراف جاده‌های جنگلی می‌شود (Guntinas et al., 2012). نتایج مقایسهٔ میانگین‌های فعالیت دو آنزیم علاوه‌بر اینکه نشان‌دهندهٔ بیشتر بودن فعالیت این آنزیم‌ها در لایه‌های سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی‌متری) بود، تأثیر بیشتر پیچ جاده‌ها بر فعالیت آنزیم‌های مذکور را نیز نشان داد، به‌طوری که فعالیت آنزیم‌های بررسی‌شده از حالت مستقیم جاده به‌سمت پیچ، روند افزایشی نشان می‌داد. افزایش میزان نور در نتیجهٔ حذف تاج‌پوشش در دو طرف جاده در محل پیچ‌ها ممکن است موجب افزایش دمای محیط شود که خود عامل مهمی در افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز خاک جنگل است (Stępniewska and Tokarz, 2012). نتایج این پژوهش نشان‌دهندهٔ روند افزایشی در پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در اطراف جاده از لبهٔ آن به‌سمت درون جنگل بود. برای مثال مقدار کربن آلی در بالادست جادهٔ مستقیم از لبهٔ جاده تا عمق ۱۳ متری درون جنگل به‌طور میانگین از ۱ تا ۳/۵ درصد افزایش یافت و سپس روندی به‌نسبت ثابت را نشان داد. آنالیز رگرسیون خط شکسته بهترین روش برای یافتن نقاط یا ارزش‌هایی است که در آن روند تغییرات یافته‌ها، پس از مقداری افزایش یا کاهش، تقریباً ثابت می‌مانَد یا روند قبلی را تغییر می‌دهد (Gonyou et al., 2006). در واقع محلی که شیب خط منحنی ابرنقاط داده‌ها تغییر می‌کند را می‌توان محل نهایی اثر جاده بر پارامترهای مدنظر در این مطالعه در نظر گرفت. می‌توان روند تغییرات در ابرنقاط را به‌صورت یک منحنی نشان داد (مدل‌های غیرخطی)، اما تنظیم یک مدل خطی شکسته در این

1. Interception

موارد نتایج بهتری دارد (Robbins, 1986). نور مهم‌ترین عامل اکولوژیک در جنگل است که تغییر شدت آن، چرخهٔ اکوسیستم جنگلی را دچار تغییر می‌کند (Kimminis, 2004)، جاده‌های جنگلی با تغییر میزان نور درون توده‌های جنگلی (از طریق حذف یا تغییر تاج‌پوشش درختان) سبب ایجاد نوعی اثر حاشیه‌ای درون جنگل می‌شوند (Delgado et al., 2013). میزان بیشتر برد (فاصله) اثر جاده‌ها در قسمت درون پیچ جاده، به‌دلیل باز شدن بیش از اندازهٔ تاج در دو سمت جاده در فاصله‌ای کم از هم (از مرکز پیچ به‌سمت بیرون) است که با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌تواند برد اثر جاده را تا فاصلهٔ ۴۲ متری از لبهٔ جاده افزایش دهد. Laurance et al. (1997) بیان کرده‌اند که به‌جز باد، بیشتر تأثیرات غیرزندهٔ حاشیهٔ جاده به‌طور معمول حداکثر تا ۱۰۰ متری از لبهٔ آن ایجاد می‌شود. تاکنون مطالعات زیادی در زمینهٔ تأثیرات اکولوژیک جاده‌های جنگلی و میزان برد تأثیرات آن در درون تودهٔ مجاور صورت گرفته است (MacDougall and Kellman 1992; Honnay et al., 2002; Dignan and Bern 2003; *Avon* et al., *2010*; Delgado et al., 2013). البته هیچ‌کدام از تحقیقات گذشته میزان تأثیر طرح‌های هندسی مختلف جادهٔ جنگلی (مستقیم، قوس و پیچ) در طول مسیر خود را در نظر نگرفته‌اند. بدون تردید با توجه به اینکه در هر حالت از طرح هندسی راه، مقدار متفاوتی از تاج‌پوشش حذف می‌شود یا حجم متفاوتی از خاک‌ریزی و خاک‌برداری برای هر کدام از طرح‌های جاده در هنگام ساخت آن انجام می‌گیرد، باید تغییرات اثر جاده‌ها در هر طرح راه و جهت‌های درون یا بیرونی قوس و پیچ را انتظار داشت. در پایان توصیه می‌شود که طراحان شبکهٔ جاده در مرحلهٔ طراحی، بافری را به‌عنوان بافر اثر جاده‌ها در نظر بگیرند؛ البته با توجه به نتایج پژوهش اخیر انتظار می‌رود این بافر با در نظر گرفتن اثرهای متفاوت طرح‌های هندسی راه، نوعی بافر متغیر باشد یا درصورتی که امکان ترسیم بافر متغیر فراهم نباشد، حد میانگینی به‌عنوان میزان برد اثر جاده‌ها به درون جنگل برای توده‌های حفاظتی و حساس در نظر گرفته شود.

References

Alizadeh, T., Salehi A., Matinizadeh, M., & Taheri Abkenar, K. (2013). Alteration of dehydrogenase and urease enzymes activity and some chemical properties of soil in different development stages of beech stand (Case study: Rezvanshahr forest). *Iranian Journal of Forest*, 5(3), 337-347. (In Persian)

Arévalo, J.R., J.D. Delgado, R. Otto, A. Naranjo, M. Salas, & Fernandez-Palacios, J.M. (2005). Exotic species in the roadside plant communities through an altitudinal gradient in Tenerife and Gran Canaria (Canary Islands). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 7: 185–202.

Auerbach, N.A., D. Marilyn, D. Walker, & A. Walker, (1997). Effects of Roadside Disturbance on Substrate and Vegetation Properties in Arctic Tundra. *Ecological Application*, 7(1), 218-235.

Aon M.A., & A.C. Colaneri, 2001. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Applied soil Ecology*, 18, 255-270.

Avon, C., Bergers, L., Dumas, Y & Dupouey, J.L. (2010). Does the effect of forest road extend a few meters or more into the adjacent forest? A study on understory plant diversity in managed oak stands. *Forest Ecology and management*, 259, 1546-1555.

Avon, C., Y. Dumas, & L. Berger, (2013). Management practices increase the impact of roads on plant communities in forests, *Biological Conservation*, 159, 24–31.

Azizian, M.F., Nelson, P.O., Thayumanavan, P., & Williamson, K.J. (2003). Environmental impact of highway construction and repair materials on surface and ground waters: case study: crumb rubber asphalt concrete. *Waste Management*, 23, 719–28.

Baldrian, P., & Štursova, M. (2011). Enzymes in Forest Soils. In: Soil Enzymology, edited by Shukla, G. Varma, A. Springer Publication., Volume 22 of the series Soil Biology, 61-73.

Baum, C., Leinweber, P., & Schlichting, A. (2003). Effects of chemical conditions in re-wetted peats temporal variation in microbial biomass and acid phosphatase activity within the growing season. *Applied Soil Ecology*, 22, 167–174.

Blońska, E. (2010). Enzyme activity in forest peat soils. *Folia Forestalia Polonica*, 52(1), 20–25.

Breland, T.A., & Hansen, S. (1996). Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 655-663.

Bremmer, J.M. & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. USA, Madison.

Buckley, H.L., Miller, T.E., Ellison, M.A., & Gotelli, N.J. (2003). Reverse latitudinal trends in species richness of pitcher-plant food webs. *Ecology Letters*, 6, 825–829.

Burke, D.M., & Nol, E. (1998). Edge and fragment effects on the vegetation of deciduous forests in Ontario, Canada. *Natural Areas Journal*, 18, 45–53.

Coffin, A.W. (2007). From Roadkill to Road Ecology: A Review of the Ecological Effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15, 396-406.

Delgado, J.D., Arroyo, N.L., Arevalo, J.R., & Fernández-Placios, J.M. (2007). Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary, and Islands). *Landscape and Urban Planning*, 81, 328-340.

Delgado J.D, Arroyo, N.L., Arévalo, J.R., & Fernández-Palacios, L.M. (2013). Road edge effects on litter invertebrate communities of subtropical forests. *Journal of Natural History*, 47, (3-4), 203-236.

Dignan, P., & Bren, L. (2003). Modelling light penetration edge effects for stream buffer design in mountain ash forest in southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 179, 95–106.

Forman, R.T.T., & Alexander, L.E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207-231.

Forman, R.T.T., & Deblinger, R.D. (2000). The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway. *Conservation Biology*, 14, 36–46.

Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones,J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T., & Winter, T.C. (2002). *Road Ecology: Science and Solutions*, Island Press.

Gruber, N., & Galloway, J.N. (2008). An earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature* 451, 293-296.

Guntinas, M.E., Leiros, M.C., Trasar-Cepeda, C., & Gil-Sotres, F. (2012). Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, 48, 73–80.

Gonyou, H.W., Brumm, M.C., Bush, E., Deen, J., Edwards, S.A., Fangman, T., McGlone, J.J., Meunier-Salaun, M., Morrison, R.B., Spoolder, H., Sundberg, P.L., & Johnson, A.K. (2006). Application of broken-line analysis to assess floor space requirements of nursery and grower-finisher pigs expressed on an allometric basis. *Journal of Animal Sciences*, 84, 229–235.

Harper, K.A., & Macdonald, S.E. (2001). Structure and composition of riparian boreal forest: new methods for analyzing edge influence. *Ecology*, 82, 649–659.

Honnay, O., Verheyen, K. and Hermy, M. (2002). Permeability of ancient forest edges for weedy plant species invasion. *Forest Ecology and Management*, 161, 109–122.

Johnston, F.M., & Johnston, S.W. (2004). Impacts of road disturbance on soil properties and an exotic plant occurrence in Subalpine areas of the Australian Alps. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2, 201-207.

Kandeler, E. 1996. Urease activity by colorimetric technique. In: Schinner F., Kandeler E., Ohlinger R., Margesin R. (Eds) *Methods in soil biology*. Springer press.

Kandeler, E., (2007). Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In: Paul, E.A., *Soil Microbiology Ecology and Biochemistry*, Oxford Academic Press.

Kimminis, J.P. (2004). Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry, Prentice Hall, University of Minnesota.

Kumar, S., Chaudhuri, S., & Maiti, S.K. (2013). Soil Dehydrogenase Enzyme Activity in Natural and Mine Soil - A Review. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 13, 898–906.

Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. 304(5677), 1623-1627.

Laurance, W.F., Laurance, S.G., Ferreira, L.V., Rankin-de Merona, J.M., Gascon, C., & Lovejoy, T., (1997). Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science*, 278, 1117–1118.

Lee, M.A., & Power, S.A. (2013). Direct and indirect effects of roads and road vehicles on the plant community composition of calcareous grasslands. *Environmental Pollution*, 176, 106-113.

Liu, L., & Greaver, T.L. (2010). A global perspective on belowground carbon dynamics under nitrogen enrichment. *Ecology Letter*, 13, 819-828.

Lopez, A.J., Martinez-Zavala, L., & Bellinfante, N. (2009). Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. *Science of the Total Environment*, 407(2), 937-944.

Luce, C.H., & Black, T.A. (1999). Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resources Research*, 35 (8), 2561-2570.

MacDougall, A., & Kellman, M. (1992). The understorey light regime and patterns of tree seedlings in tropical riparian forest patches. *Journal of Biogeography*, 19, 667–675.

Matinizadeh, M., Korori, S.A.A., Teimouri, M., & Parzink, W. 2008. Enzyme activities in undisturbed and disturbed forest soils under Oak (Quercus brantii var persica) as affected by Soil depth and seasonal variation. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(4), 368-374.

Matinizadeh, M., Khoshnevis, M., Teimouri, M., & Shirvany, A. (2012). The effect of preservation on soil enzymes activities in *Juniperus excelsa* plantation of Chahartagh. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(1), 46-52. (In Persian)

Mclaren, A.D. (1975). Soil as a system of humus and clay immobilized enzymes. *Chemica Scripta*, 8, 97–99.

Mortzek, R., Pfirrmann, H., & Barge, U. (2000). Effect of road construction material and light on the vegetation along the roadsides and adjoining forest using the example of roads in the forest district Bramwald in Niedersachsen. *Forstarchiv*, 71, 234–244.

Nannipieri, P., Greco, S., & Ceccanti, B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag J.M. and G. Stozky, (Eds.), *Soil Biochemestry*, 6, 293–355.

Narayanaraj, G., & Wimberly, M.C. (2013). Influences of forest roads and their edge effects on the spatial pattern of burn severity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 62–70.

Neher, D.A., Asmussen, D. & S.T. Lovell, (2013). Roads in northern hardwood forests affect adjacent plant communities and soil chemistry in proportion to the maintained roadside area. *Science of the Total Environment*, 449, 320-329.

Otto, R., Artega, M.A., Delgado, J.D., Arevalo, J.R., Blandino, C. & Palasio, J.M. (2013). Road Edge Effect and Elevation Patterns of Native and Alien Plants on an Oceanic Island (Tenerife, Canary Islands). *Folia Geobotanica*, 49(1), 65-82.

Parendes, L.A., & Jones, J.A. (2000). Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H.J. Andrews experimental forest, Oregon. *Conversation Biology*, 14(1), 64-75.

Parsakhoo, A., Jalilvand, H., Hosseini, S.A., & Sheikhi, M. (2008). Effect of asphalted and earthy forest roads on stock growth of edge and adjacent stands. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(5), 10-17. (In Persian)

Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., & Khanna, P.K. (2002). Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168(1-3), 241-257.

Rahbari-Sisakht, S., Abdi, E., Moghadami-Rad, M., Majnounian, B., & Yousef Zadeh, H. (2013). Sensitivity analysis of CULSED model to provide strategies for forest roads sediment control. *Iranian Journal of Forest*, 5(3), 219-228. (In Persian)

Rahbari-Sisakht, S., Majnounian, B., Saravi, M.M., Abdi, E., & Surfleet, C. (2014). Impact of rainfall intensity and cutslope material on sediment concentration from forest roads in northern Iran. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 7, 48-52.

Robbins, K.R. (1986). A Method, SAS Program, and Examples for Fitting the Broken Line to Growth Data. Univ. Tennessee Res. Report 86-09. Univ. Tennessee Agric. Express.

Rodriguez, A., Lovett, M.L.G., Weathers, K.C., Arthur, M.A., Templer, P.H., Goodale, C.L. & Christenson, L.M. (2014). Liability of C in temperate forest soils: Assessing the role of nitrogen addition and tree species composition. *Soil Biology and Biochemistry*, 77, 129-140.

Rostamian, M., Shataee, Sh.,& Kavosi, M.R. (2012). Modeling topographic factors affecting bracket fungi dispersal in district I of the Shastkolateh forest of Gorgan. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 10(2), 118-133. (In Persian)

Ryan, S.E., & Laurei, S.P. (2007). A tutorial on the piecewise regression approach applied to bedload transport data. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-189. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

SAS Institute, (1996). SAS/Stat User's Guide. Version 6. SAC Inst., Cary, NC.

Sahlodin, A.M., Sotudeh-Gharebagh, R., & Zhu, Y. (2007). Modeling of dispersion near roadways based on the vehicle-induced turbulence concept. *Atmosphere Environment*, 41, 92-102.

Schuman G.E., Janzen, H., & Herrick, J.E. (2002). Soil Carbon Information and Potential Carbon Sequestration by Rangelands. *Environmental Pollution*, 116, 391-396.

Sinsabaugh, R.L., Carreiro, M.M., & Alvarez, S. (2002). Enzyme and microbial dynamics of litter Decomposition. In: Burns, R.G. and W.A. Dick, (Eds.). *Enzymes in the Environment*. Marcel Dekker., New York, 249–266.

Shi, W., Dell, E., Bowman, D., & Iyyemperumal, K. (2006). Soil enzyme activities and organic matter composition in a turfgrass chronosequence. *Plant and soil*, 288(1), 285-296.

Spellerberg, I.F. (1998). Ecological Effects of Roads and Traffic: A Literature Review. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(5), 317-333.

Stępniewska, Z., & Tokarz, E. (2012). Effect of light intensity introduced through optical fibers on soil redox status and gases evolution. *Acta Agrophysica*, 19(1), 171-179.

Sullivan, J.J., Williams, P.A., Timmins, S.M., & Smale, M.C. 2009. Distribution and spread of environmental weeds along New Zealand roadsides. *Newzeland Journal of Ecol*ogy, 33, 190–204.

Tahmasebi, P., Ebrahimi1and, & A., Yarali, N.A. (2012). The Most Appropirate Quadrate Size and Shape for Determing Some Characteristics of a Semi-steppic Rangeland. *Journal of Range and Watershed Management*, 65(2), 203-216. (In Persian)

Taylor, J., Wilson, P.B., Mills, M.S., & Burns, R.G. (2002). Comparison of microbial numbers and enzymatic activity in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 387-401.

Trombulak, S.C., & Frissell, C.A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14, 18–30.

Vedenov, D., & Pesti, G.M. (2014). A comparison of methods of fitting several models to nutritional response data. *Journal of Animal Sciences*, 86, 500–507.

Veres, Z., Kotroczo, Z., Magyros, K., Toth, J.A. & Tothmeres, B. (2013). Dehydrogenase Activity in a Litter Manipulation Experiment in Temperate Forest Soil. *Acta Silva*, 9, 25–33.

Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sciences*, 37, 29-38.

Watkins, R.Z., Chen, J.Q., & Brosofske, K.D. (2003). Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape. *Conservation Biology*, 2, 411-419.

Zantua, M.I., & Bremner, J.M. (1977). Stability of urease in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 9, 135-140.

Zheng, D., & Chen, J. (2000). Edge effects in fragmented landscapes: a generic model for delineating area of edge influences (D-AEI). *Ecological Modeling*, 132, 75–190.

Iranian Journal of Forest
Vol. 9, No. 3, Autumn 2017
pp. 315-331

Road geometric design and its effect on some chemical and biochemical indicators of soil of adjacent forest stands

S. Rahbari Sisakht[1], M. H. Moayeri[2*], E. Abdi[3], R. Rahmani[4], and M. H. Pahlavani[5]

[1]PhD candidate of forest sciences, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, I. R. Iran.
[2]Associated prof., of forestry, Gorgan University of agricultural sciences and natural recourses, I. R. Iran
[3]Associated prof., of forest engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[4] Associated prof., of forest ecology, Gorgan University of agricultural sciences and natural recourses, I. R. Iran
[5]Associated prof., of biotechnology, Gorgan University of agricultural sciences and natural recourses, I. R. Iran

(Received: 9 Jan 2017, Accepted: 7 May 2017)

Abstract

Forest roads are the most important infrastructure to access and apply the forest management activities, which they can impose a significant impact on adjacent stands. The objective of this study was to investigate the effect of the forest road geometric plan (switchback, curve, and straight road) on some chemical and biochemical indicators of soil in adjacent stands for forest road planning. Considering three different road geometric plans, from the edge of the road up to 100 meters toward the forest interior, the rate of organic carbon, nitrogen, and dehydrogenase and urease enzymes activity in forest soil at the depth of 0-10 and 10-20 cm in two forest types was measured. Data were analyzed by using t-test, ANOVA, and broken-line regression model. The results of ANOVA showed significant effect of forest type and geometric plans of the road on measured variables. In addition, results indicated that by increasing the depth of soil, the impact of the road on some measured indicators was not significant. The results of broken line regression model showed that the lowest range of road effect was related to the straight road (13 m) and its highest range was related to switchback road (42 m). Results of this study can provide guidelines for forest road planners and evaluators to design the road effect buffer at the stage of forest roads network planning and to minimize the effect of forest road on its adjacent stands.

Keywords: Forest Roads, Road Geometric plan, Broken-line Regression, Soil Biochemistry.

∗Corresponding author Tel: +989111719613 Email: moayeri38@yahoo.com