

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

سعید راهبری سی‌سخت<sup>۱</sup>، محمدهادی معیری<sup>۲\*</sup>، احسان عبدی<sup>۳</sup>، رامین رحمانی<sup>۴</sup> و محمدهادی پهلوانی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

<sup>۳</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

<sup>۴</sup> دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

<sup>۵</sup> 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 جاده مستقیم) بر برخی شاخص‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک در توده‌های مجاور آن بود. با در نظر گرفتن سه طرح مختلف هندسی جاده، از کناره جاده تا عمق ۱۰۰ متری از آن به سمت 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. به کمک تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و مدل رگرسیون خط شکسته، اطلاعات به دست آمده تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیپ جنگلی و طرح هندسی جاده بر متغیرهای اندازه‌گیری شده بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک، تأثیر جاده بر برخی شاخص‌های اندازه‌گیری شده 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 مرحله طراحی شبکه جاده‌های جنگلی به حداقل رساندن تأثیر جاده جنگلی بر توده کناری خود باشد.

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

### مقدمه

ساختمان خطوط حمل‌ونقل در تخریب اکوسیستم جانبی و بازسازی و پیکربندی دوباره آن تأثیر بسزایی دارد (Coffin, 2007). به‌طور کلی جاده‌ها بر محیط زنده و غیرزنده اطراف خود اثرگذارند. جنگل‌ها نیز به‌عنوان اکوسیستمی باارزش، پیچیده و حساس از این

زیرساخت‌های حمل‌ونقل بخش جدایی‌ناپذیر توسعه هر کشور محسوب می‌شود. جاده‌ها زیربنای حمل‌ونقل‌اند و تأثیر مستقیمی بر ساختار اکوسیستم‌های اطراف خود دارند. بدون تردید

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 حاشیه 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) 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 توده 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. علاوه بر 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 زیست‌توده اکوسیستم جانبی خود بر ذخیره کربن آلی و در نتیجه تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اطراف اثرگذارند (Watkins et al., 2003; Johnston and Johnston

2013; Neher et al., 2004). خاک‌ها بخش مهمی از اکوسیستم به‌شمار می‌روند و تأثیر مهمی در توسعه پوشش گیاهی در مناطق جنگلی دارند. علاوه بر اینکه گیاهان و سایر عوامل زنده 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 ذکر شده در خاک جنگل اثر می‌گذارند. اکوسیستم‌های جنگلی هم در جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر و هم در ایجاد شرایط مناسب برای چرخه کربن و ذخیره 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). از آنجا 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). علاوه بر این، با توجه به اینکه فعالیت‌های آنزیمی خاک اطلاعات مفیدی درباره وضعیت باکتریایی و شرایط بیوشیمیایی خاک‌ها در اختیار قرار می‌دهند، با نام حسگر تجزیه مواد آلی شناخته می‌شوند (Aon and Colaneri, 2001; Baum et al., 2003). همه 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 چرخه بیوژئوشیمیایی خاک،

جغرافیایی و "۲۶' ۲۱" - ۵۴° - ۵۷' ۲۴" ۵۴° طول جغرافیایی قرار دارد. این سری ۳۳ پارسل دارد و دارای شبکه جاده‌ای به طول ۳۱ کیلومتر و با تراکم ۱۸/۱۳ متر در هر هکتار است. فاصله متوسط جاده‌ها در سری ۱ حدود ۵۵۱/۱۸ متر است و با توجه با اطلاعات مربوط به پروانه‌های قطع و ساخت جاده‌ها به طور 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).

### شیوه اجرای پژوهش

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

در محل هر نقطه، از مرکز جاده به سمت درون جنگل ترانسکت‌هایی به طول ۱۰۰ متر (Delgado et al., 2007, Avon et al., 2010) عمود بر محور وسط جاده، در دو سمت دامنه بالا و پایین دست جاده در نظر گرفته شد. در طول هر ترانسکت پلات‌هایی با ابعاد ۱×۱۰ متری در فواصل ۰ (لبه 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 ۱×۴ متری (Tahmasebi et al., 2012) (به گونه‌ای که عرض آن در جهت شیب و طول آن در جهت منحنی‌های میزان

مشارکت کرده و آن را تضمین می‌کند (Veres et al., 2013). اوره‌آز نیز به طور گسترده در طبیعت وجود دارد و کارکرد مهمی در چرخه 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). ماده آلی منبع مهمی برای میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش فعالیت آنها به حساب 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 (به خصوص در جنگل‌های کوهستانی) دارای تغییرات متعددی در طرح هندسی خود هستند. از این رو، با توجه به مطالب پیش گفته، گمان می‌رود طرح‌های مختلف هندسی جاده می‌تواند با تأثیر بر چرخه 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 ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک جنگل بود.

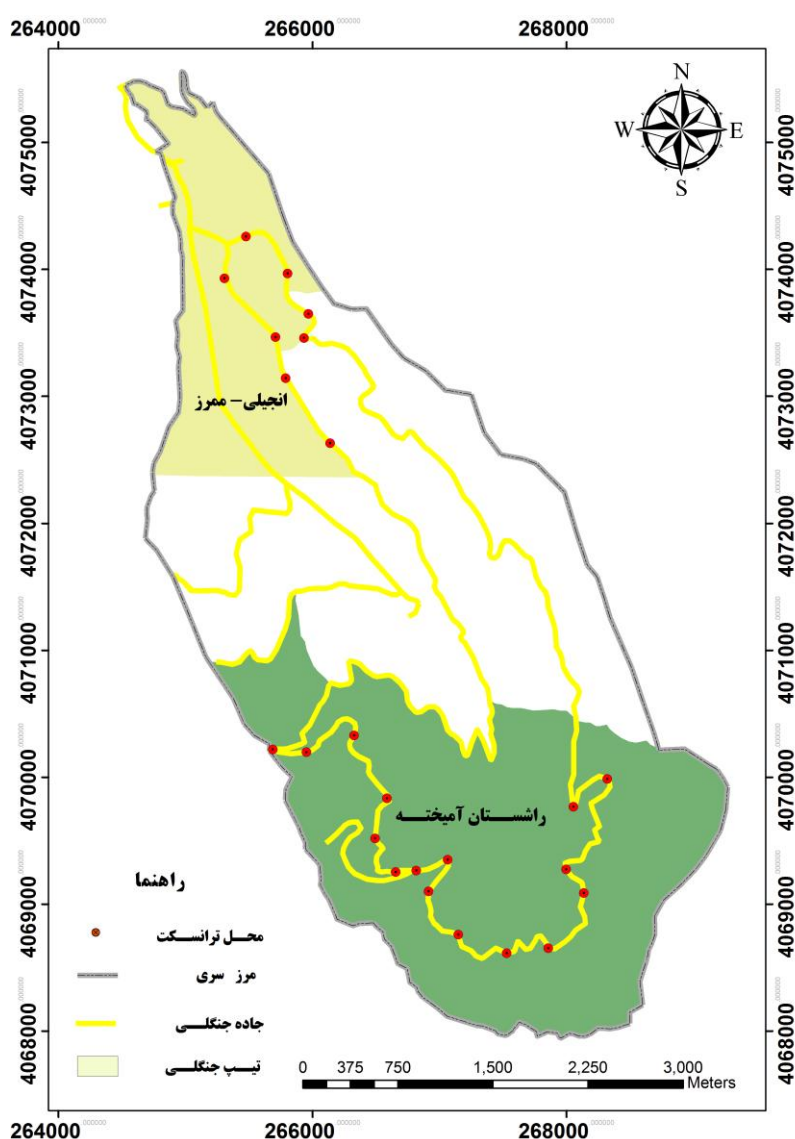
### مواد و روش‌ها

#### منطقه پژوهش

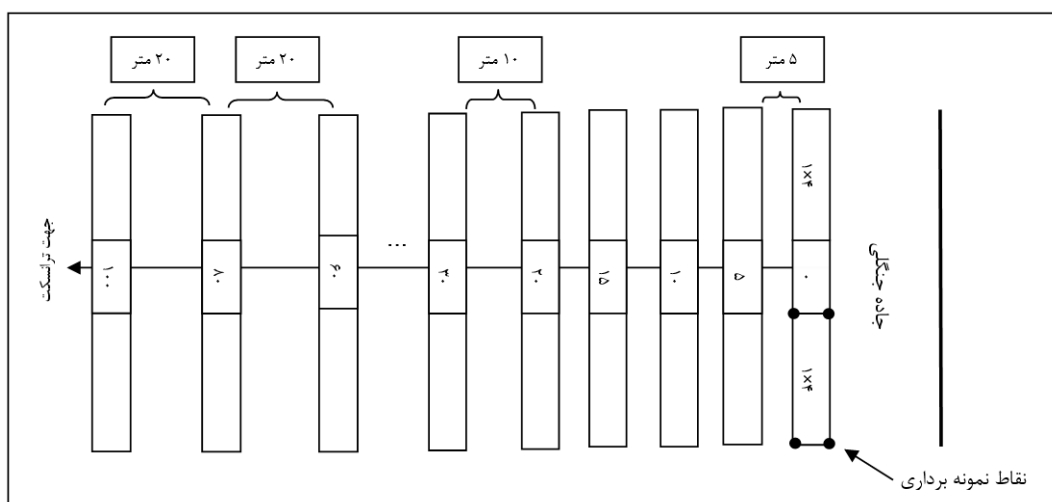
پژوهش حاضر در طول شبکه جاده سری ۱ جنگل آموزشی و پژوهشی طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا متعلق به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. این جنگل با مساحت ۱۷۱۳/۳ هکتار بین "۶' ۴۸" - ۳۶° - ۲۷' ۴۳" ۳۶° عرض

منطقه بود) به صورت تصادفی انتخاب شد (شکل ۲). در چهار گوشه 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 (Kandeler, 1996) اندازه‌گیری شد.

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 ( $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$ )، و اوره‌آز برحسب میکروگرم ازت ( $\mu\text{g N g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$ ) اندازه‌گیری شد (Kandeler, 1996).



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



شکل ۲- وضعیت پلات‌ها نسبت به جاده، فاصله آنها از هم و نقاط نمونه برداری

## روش تحلیل

بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف انجام گرفت. با استفاده از تجزیه واریانس میزان معنی داری 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 مقایسه 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 جاده جنگلی بود، از رگرسیون خط- شکسته<sup>۱</sup> (رگرسیون تکه‌ای<sup>۲</sup>) برای این منظور استفاده شد (Ryan and Port, 2007). تمامی آزمون‌ها و محاسبه‌های آماری در محیط برنامه SASWin v.9.1 انجام گرفت و رگرسیون خط شکسته در ابتدا با برنامه‌نویسی در محیط (Proc NLIN SAS method) و سپس رسم آن توسط نرم‌افزار Microsoft excel 2007 به کمک افزونه<sup>۳</sup> Solver صورت پذیرفت (Vedenov and Pesti, 2014).

## نتایج

نتایج آنالیز تجزیه واریانس کربن آلی و ازت در دو عمق مختلف نشان‌دهنده تأثیر معنی دار تیپ جنگلی (به جز 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 ۱۰-۲۰ و ۰-۱۰ سانتی‌متری بود. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده معنی دار 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 تجزیه واریانس مربوط به فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوزه‌آز در دو عمق ۱۰-۲۰ و ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک نشان‌دهنده تأثیر معنی دار تیپ جنگلی، طرح هندسی جاده، فاصله از جاده و سمت بالادست و پایین دست جاده، بر فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز (در هر دو عمق ۱۰-۲۰ و ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک) و اوزه‌آز در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک بود (جدول ۲). هرچند زمان برداشت با توجه به طرح‌های مختلف جاده در دو تیپ مختلف اثر معنی داری داشت، نتایج این تحقیق نشان

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

داد که زمان برداشت در طول روز در دو سمت بالادست و پایین دست جاده در فواصل مختلف از جاده اثر معنی داری بر فعالیت دو آنزیم بررسی شده نداشت. همچنین نتایج نشان دهنده معنی دار نبودن تأثیر فاصله از جاده در دو سمت بالادست و پایین دست آن بر فعالیت دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک بسته به طرح هندسی جاده و تیپ جنگلی بود.

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

منبع تغییر (SV)	درجه آزادی	کربن عمق ۰-۱۰ cm	کربن عمق ۱۰-۲۰ cm	ازت عمق ۰-۱۰ cm	ازت عمق ۱۰-۲۰ cm
تیپ جنگلی	۱	۳۳/۵۵**	۷/۶۶**	۳/۳۹**	۰/۷۱ <sup>ns</sup>
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 <sup>ns</sup>	۰/۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۷۷ <sup>ns</sup>	۰/۸۳ <sup>ns</sup>
خطا	۵۰۴	۰/۵۸	۰/۲۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵

\*\* معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، \* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، <sup>ns</sup> معنی دار نبودن

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

منبع تغییر (SV)	درجه آزادی	دهیدروژناز عمق ۰-۱۰ cm	دهیدروژناز عمق ۱۰-۲۰ cm	اوره‌آز عمق ۰-۱۰ cm	اوره‌آز عمق ۱۰-۲۰ cm
تیپ جنگلی	۱	۲۰/۱۸**	۱۶/۵۷**	۷/۲۲**	۰/۳۳ <sup>ns</sup>
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 <sup>ns</sup>
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 <sup>ns</sup>	۰/۵۴ <sup>ns</sup>	۱/۰ <sup>ns</sup>	۰/۸۷ <sup>ns</sup>
اثر متقابل فاصله از جاده × جهت در طرح هندسی جاده در تیپ	۶۶	۱/۶۱*	۰/۶۵ <sup>ns</sup>	۲/۵۹**	۱/۱۰ <sup>ns</sup>
اثر متقابل زمان برداشت × جهت در طرح هندسی جاده در تیپ	۱۲	۱/۷۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۱/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>ns</sup>
اثر متقابل زمان برداشت × فاصله × جهت در طرح هندسی جاده در تیپ	۱۳۲	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۳ <sup>ns</sup>
خطا	۱۵۸۴	۱/۲۲	۱/۱۱	۳/۲۵	۱/۳۳

\*\* معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، \* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، <sup>ns</sup> معنی دار نبودن

در حالی که این روند در پایین دست جاده وجود نداشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش عمق خاک، اثر هر کدام از طرح‌های هندسی جاده بر مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده کاهش می‌یابد (جدول‌های ۳ و ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌های مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در خاک جنگل نشان‌دهنده تأثیر طرح هندسی جاده و دو سمت بالادست و پایین دست جاده بر هر کدام از مؤلفه‌های بررسی شده بود. میزان هر کدام از مشخصه‌های اندازه‌گیری شده، در بالادست حالت مستقیم جاده به سمت درون پیچ افزایش یافته بود؛

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

طرح هندسی	کربن آلی (۰-۱۰ cm)			کربن آلی (۱۰-۲۰ cm)			ازت (۰-۱۰ cm)			ازت (۱۰-۲۰ cm)		
	پیش	قوس	مستقیم	پیش	قوس	مستقیم	پیش	قوس	مستقیم	پیش	قوس	مستقیم
انجیلی- بالادست	۲/۹۷ <sup>a</sup>	۴/۲۹ <sup>a</sup>	۵/۹۸ <sup>a</sup>	۲/۹۳ <sup>a</sup>	۳/۲۳ <sup>a</sup>	۳/۵۷ <sup>a</sup>	۰/۳۶ <sup>a</sup>	۰/۴۰ <sup>a</sup>	۰/۴۹ <sup>a</sup>	۰/۱۶۶ <sup>a</sup>	۰/۱۴۶ <sup>a</sup>	۰/۲۰۲ <sup>a</sup>
ممرز پایین دست	۱/۶۹ <sup>b</sup>	۲/۸۲ <sup>a</sup>	۲/۹۵ <sup>b</sup>	۱/۶۰ <sup>a</sup>	۱/۵۱ <sup>a</sup>	۱/۳۴ <sup>b</sup>	۰/۲۱۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۵ <sup>b</sup>	۰/۲۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۴۷ <sup>a</sup>	۰/۱۶۲ <sup>a</sup>	۰/۱۵۸ <sup>a</sup>
بالادست	۲/۰۸ <sup>a</sup>	۲/۷۰ <sup>a</sup>	۳/۳۱ <sup>a</sup>	۱/۹۴ <sup>a</sup>	۲/۲۴ <sup>a</sup>	۲/۶۱ <sup>a</sup>	۰/۲۵۰ <sup>a</sup>	۰/۲۳۰ <sup>a</sup>	۰/۳۳۳ <sup>a</sup>	۰/۱۶۷ <sup>a</sup>	۰/۱۳۱ <sup>a</sup>	۰/۲۳۰ <sup>a</sup>
راشستان پایین دست	۱/۰۱ <sup>b</sup>	۲/۰۵ <sup>b</sup>	۲/۶۷ <sup>b</sup>	۱/۶۰ <sup>a</sup>	۱/۶۸ <sup>b</sup>	۲/۲۲ <sup>b</sup>	۰/۱۴۲ <sup>b</sup>	۰/۱۷۱ <sup>b</sup>	۰/۲۱۸ <sup>b</sup>	۰/۱۶۳ <sup>a</sup>	۰/۱۳۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۶ <sup>b</sup>

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

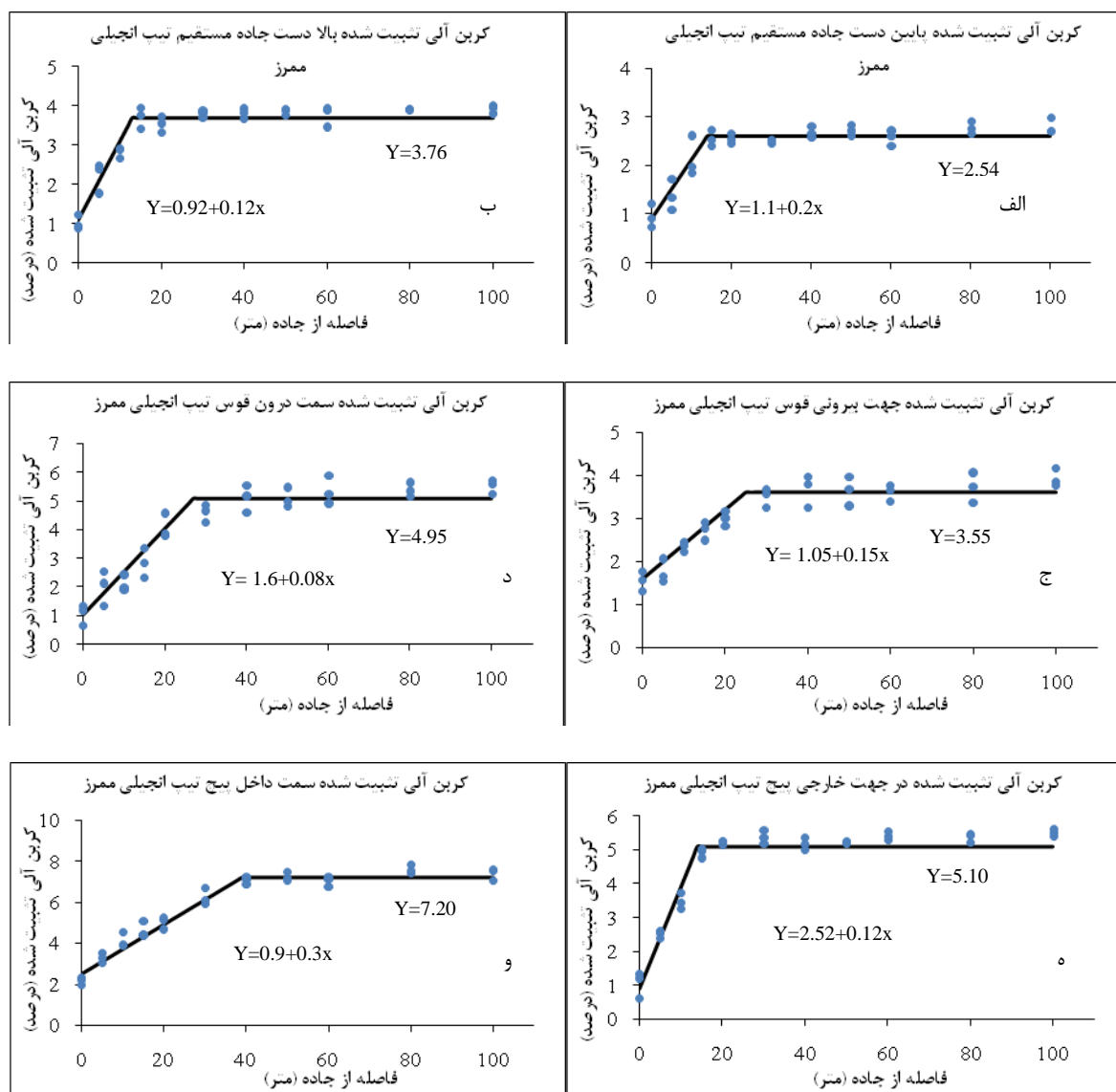
جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر دو سمت جاده با توجه به وضعیت آن بر فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در هر دو تیپ و عمق‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک

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

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

در برد اثر آن به درون توده جانبی برای همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده بود. برای مثال، اثر طرح هندسی جاده جنگلی بر کربن آلی تثبیت شده در خاک توده کناری برای تیپ جنگلی انجیلی- ممرز در کمترین میزان برای سمت پایین دست جاده مستقیم و به میزان ۱۳ متر و در بیشترین میزان برای منطقه داخلی پیچ و به اندازه ۳۹ متر بود (شکل ۳).

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خط شکسته (رگرسیون تکه‌ای) نشان داد که میزان هر کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک توده اطراف جاده جنگلی با حرکت از سمت جاده به درون جنگل ابتدا افزایش یافته است و سپس مقدار به نسبت ثابتی می‌رسد. همچنین نتایج حاصل از مدل رگرسیونی تکه‌ای، نشان‌دهنده بیشتر بودن تأثیر سمت داخلی پیچ جاده



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

به میزان ۱۳ متر برای منطقه پایین‌دست جاده 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؛

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 جاده جنگلی در توده حاشیه‌ای بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز و به میزان ۴۲ متر برای منطقه داخل پیچ (جدول ۵) و کمترین آن



تغییر وضعیت تاج‌پوشش درختان در اطراف جاده‌های جنگلی، مقدار مواد آلی وارد شده از طریق ریزش لاشبرگ گیاهان و تجزیه مواد آلی در اطراف این جاده‌ها متأثر از جاده خواهد بود (Delgado et al., 2007). وسایل نقلیه به‌طور معمول سنگین نیز هنگام حمل چوب‌های جنگلی جریان هوای شدیدی را در اطراف خود تولید می‌کنند که سبب جابه‌جایی برگ‌های خزان‌کرده 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 چرخه اکوسیستم جنگل اغلب از طریق بقایای شاخ‌وبرگ گیاهان تأمین می‌شود، می‌تواند توجیه‌کننده نتایج به‌دست آمده باشد.

با وجود این ممکن است سبب تغییر و ایجاد آشفستگی 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

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 اندازه‌گیری شده	طرح جاده	مدل رگرسیونی خط - شکسته	حداکثر برد اثر جاده درون توده (متر)	ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	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**
وره‌آز	مستقیم (بالادست)	$Y=3.9+0.4X$	۱۹	۹۵/۶۶	۳/۴۰	۰/۰۰۱**
وره‌آز	مستقیم (پایین‌دست)	$Y=1.36+0.23X$	۱۸	۹۲/۳۱	۵/۳۸	۰/۰۰۱**
وره‌آز	داخل قوس	$Y=3.72+0.21X$	۲۸	۹۴/۰۰	۳/۲۱	۰/۰۰۱**
وره‌آز	بیرون قوس	$Y=1.9+0.15X$	۲۶	۹۰/۷۰	۵/۷۰	۰/۰۰۱**
وره‌آز	داخل پیچ	$Y=2.64+0.24X$	۳۹	۹۸/۸۰	۱/۵۶	۰/۰۰۱**
وره‌آز	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)

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

فیزیکی و شیمیایی آن حساس‌ترند و به تغییرات محیطی به‌سرعت واکنش نشان می‌دهند (Nannipieri et al., 1990). 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

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

(Delgado et al., 2007; Forman et al., 2002)، علاوه بر این، افزایش رطوبت ناشی از حذف تاج درختان (به علت کاهش باران ربایی<sup>۱</sup>) سبب کاهش سنتز ازت در اطراف جاده‌های جنگلی می‌شود (Guntinas et al., 2012). نتایج مقایسه میانگین‌های فعالیت دو آنزیم علاوه بر اینکه نشان‌دهنده 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، به طوری که فعالیت آنزیم‌های بررسی شده از حالت مستقیم جاده به سمت پیچ، روند افزایشی نشان می‌داد. افزایش میزان نور در نتیجه حذف تاج پوشش 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 اوزه‌از خاک جنگل است (Stepniewska and Tokarz, 2012). نتایج این پژوهش نشان‌دهنده روند افزایشی در پارامترهای اندازه‌گیری شده در اطراف جاده از لبه آن به سمت درون جنگل بود. برای مثال مقدار کربن آلی در بالادست جاده مستقیم از لبه جاده تا عمق ۱۳ متری درون جنگل به‌طور میانگین از ۱ تا ۳/۵ درصد افزایش یافت و سپس روندی به نسبت 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 می‌ماند 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 به صورت یک منحنی نشان داد (مدل‌های غیرخطی)، اما تنظیم یک مدل خطی شکسته در این

محیطی به سرعت 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 به صورت لاشبرگ گیاه در سطح خاک وجود دارند؛ بنابراین با توجه به انبوه مواد آلی در آن، آنزیم‌های شرکت‌کننده در تجزیه مواد آلی، کارکرد مهمی در خاک‌های جنگلی دارند (Baldrian and Štrasová, 2011). از طرفی مواد آلی خاک تأمین‌کننده منابع غذایی میکروارگانیسم‌های خاک‌کند و فعالیت آنها به مقدار ماده آلی خاک بستگی دارد (Błońska 2010; Veres et al., 2013). با فاصله گرفتن از جاده جنگلی به سمت درون توده، مقدار ماده آلی خاک نیز افزایش یافت؛ افزایش مقدار ماده آلی خاک سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شد و فعالیت آنزیم دهیدروژناز را افزایش داد. علاوه بر 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 توجیه‌کننده کمتر بودن فعالیت این آنزیم در فواصل نزدیک به جاده است. تغییرات ازت در اطراف جاده جنگلی نیز مانند ماده آلی خاک روند مشابهی را نشان داد؛ به گونه‌ای 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 تاج پوشش درختان در طول مسیر خود هستند (Parendes and Jones, 2000; Buckley et al., 2003; Watkins et al., 2003) که سبب افزایش درجه حرارت در اطراف این جاده‌ها می‌شود

البته (Avon et al., 2010; Delgado et al., 2013). هیچ‌کدام از تحقیقات گذشته میزان تأثیر طرح‌های هندسی مختلف جاده 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 شبکه جاده در مرحله 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 در صورتی 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.

موارد نتایج بهتری دارد (Robbins, 1986). نور مهم‌ترین عامل اکولوژیک در جنگل است که تغییر شدت آن، چرخه 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 اندازه تاج در دو سمت جاده در فاصله‌ای کم از هم (از مرکز پیچ به سمت بیرون) است که با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌تواند برد اثر جاده را تا فاصله ۴۲ متری از لبه جاده افزایش دهد. Laurance et al. (1997) بیان کرده‌اند که به‌جز باد، بیشتر تأثیرات غیرزنده حاشیه جاده به‌طور معمول حداکثر تا ۱۰۰ متری از لبه آن ایجاد می‌شود. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تأثیرات اکولوژیک جاده‌های جنگلی و میزان برد تأثیرات آن در درون توده مجاور صورت گرفته است (MacDougall and Kellman 1992; Honnay et al., 2002; Dignan and Bern 2003;

## 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.
- Błońska, 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.
- Bremner, 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 Biochemistry*, 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. *Conservation 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 Ecology*, 33, 190–204.
- Tahmasebi, P., Ebrahimi land, & A., Yarali, N.A. (2012). The Most Appropriate Quadrature 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.





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

S. Rahbari Sisakht<sup>1</sup>, M. H. Moayeri<sup>2\*</sup>, E. Abdi<sup>3</sup>, R. Rahmani<sup>4</sup>, and M. H. Pahlavani<sup>5</sup>

<sup>1</sup>PhD candidate of forest sciences, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, I. R. Iran.

<sup>2</sup>Associated prof., of forestry, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, I. R. Iran

<sup>3</sup>Associated prof., of forest engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>4</sup>Associated prof., of forest ecology, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, I. R. Iran

<sup>5</sup>Associated prof., of biotechnology, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, 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.

