



دانشگاه گیلان، دانشکده علوم و فنآوری چوب و جنگل

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم و دوم، شماره اول، ۱۳۹۴

<http://jwfst.gau.ac.ir>

احیا طبیعی برخی خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک مسیرهای چوبکشی در یک دوره ۲۰ ساله (مطالعه موردی: جنگل‌های اسالم - استان گیلان)

* رامین نقدی^۱، زهرا محمدی^۲، مهدی عاکف^۳ و ایرج باقری^۴

^۱دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی،

^۲دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ^۳استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان،

^۴استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۳

چکیده

استفاده از ماشین‌های مدرن بهره‌برداری در جنگلداری، نیروی زیادی را به خاک منتقل می‌کند. نتیجه وارد شدن چنین نیروهایی، تغییر و آسیب به ساختمان خاک است که اغلب می‌تواند اثرات مخرب طولانی مدتی بر خصوصیات میکرومورفولوژیکی از جمله اندازه و نوع حفرات خاک داشته باشد. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی میزان بازیابی خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک مسیرهای چوب‌کشی در طی دوره ۲۰ ساله در منطقه جنگلی اسالم در شمال ایران انجام گرفت. تیمارها شامل سه دوره زمانی (۱، ۱۰ و ۲۰ سال)، دو طبقه شیب (بیشتر از ۲۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد) و دو سطح ترافیک (زیاد و کم) بود و پلات‌هایی به ابعاد ۱۲×۵ مترمربع در مسیرهای چوب‌کشی و شاهد تعیین و در هر پلات با استفاده از قوطی کوبینا نمونه دست نخورده تهیه شد و سپس از این نمونه‌ها، مقاطع نازک تهیه گردید. مقاطع نازک مورد مطالعات میکروسکوپی توسط میکروسکوپ پلاریزان قرار گرفتند و پس از مطالعه و عکس‌برداری، درصد تخلخل کل، مساحت و قطر معادل حفرات با استفاده از نرم‌افزار Image Tool محاسبه شد. نتایج نشان داد که پس از گذشت ۲۰ سال از زمان چوب‌کشی، هنوز خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک‌های تراکم یافته در مسیرهای

*مسئول مکاتبه: rnaghdi@guilan.ac.ir

چوب‌کشی کاملاً بازیابی نشده و دارای تفاوتی معنی‌دار با منطقه شاهد بودند. بنا بر این برای ترمیم و احیا طبیعی خاک‌ها در این مناطق به مدت زمان بیشتری نیاز بود. شیب و شدت ترافیک در میزان بازیابی این خصوصیات نیز تأثیر به‌سزایی داشتند، به طوری که شدیدترین آسیب به خاک مسیرهای چوب‌کشی در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و ترافیک زیاد مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: احیا طبیعی، مسیرهای چوب‌کشی، ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی خاک، میکروسکوپ پلاریزان

مقدمه

در جنگل‌داری ماشین‌های مدرن بهره‌برداری و حمل و نقل چوب که به علل اقتصادی لازم است که در تمام طول سال و بدون توجه به اثرات متقابل آب و هوا و خاک فعالیت نمایند، وزن زیادی را به خاک منتقل می‌کنند، نتیجه وارد شدن چنین نیروهایی به خاک، تغییر و آسیب به ساختمان خاک است که اغلب فشردگی خاک را پدید می‌آورد (ایسن‌بایس و همکاران، ۲۰۰۷). تردد اسکیدرها و حمل‌گرده‌بینه منجر به شکسته شدن خاکدانه‌ها به قطعات کوچک می‌شود، فضای بین خاکدانه‌ای کاهش یافته و به این ترتیب حجم حفره‌های خاک و اندازه آن از نظر قطر معادل حفره و درصد مساحت کاهش می‌یابد (بهرام کلهری، ۲۰۰۸؛ سوسن‌جار و همکاران، ۲۰۰۶؛ ارس و همکاران، ۲۰۰۵). هوبارد و همکاران (۲۰۰۳)، به دنبال تحقیقاتی که در دانشگاه میسوری کلمبیا انجام دادند، اعلام کردند اثرات عملیات برداشت شدید از جنگل ممکن است شامل فشردگی خاک و تخریب ساختمان خاک سطحی شود. یکی از عوامل بسیار مهم در میزان تخریب خاک تعداد تردها در مسیر چوب‌کشی می‌باشد، بسیاری از محققان نشان دادند که حداکثر افزایش جرم مخصوص خاک در چند تردد اولیه اتفاق می‌افتد. اگرچه تردهای بعدی سبب افزایش جرم مخصوص شده ولی روند تغییرات آن معنی‌دار نیست (امپورتر و همکاران، ۲۰۰۷). از دیگر عوامل تأثیرگذار بر روند تخریب خاک شیب طولی مسیر می‌باشد، به طوری که با افزایش شیب طولی مسیر میزان تخریب خاک از نظر وسعت و شدت افزایش می‌یابد و صدمه به خاک در تردهای کمتر اتفاق می‌افتد (سلگی، ۲۰۰۷).

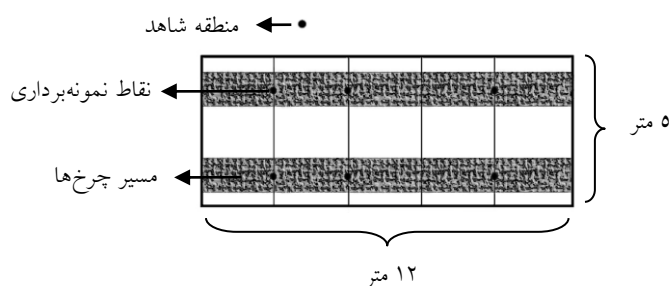
طبقه‌بندی تخلخل خاک به وسیله روش‌های میکرومورفولوژی عمده‌ترین روش برای ارزیابی تغییرات ساختمان است. همچنین مقاطع نازک خاک می‌توانند برای مطالعه تراکم خاک ناشی از رفت و آمد ماشین‌آلات جنگلی به‌کار روند (کاپور و همکاران، ۲۰۰۸). نرخ بازیابی منافذ درشت خاک بدون

انجام فعالیت‌های انسانی بسیار کند است و بسته به عواملی چون بافت خاک، شرایط آب و هوایی، شدت و وسعت خسارات و فعالیت فون و فلور خاک دارد. این امر می‌تواند از یک سال در لایه‌های سطحی تا ۱۰۰ سال در لایه‌های عمیق‌تر به طول بیانجامد (راب، ۲۰۰۴؛ وب، ۲۰۰۲). لذا این مطالعه به بررسی وضعیت بازیابی برخی از خواص میکرومورفولوژیکی خاک تحت شرایط مختلف شدت ترافیک و شیب طولی مسیر طی یک دوره زمانی بیست ساله می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پارسل‌های ۲۲۰، ۱۲۶ و ۱۱۵ از سری‌های یک و دو ناو اسالم در استان گیلان، که مدت زمان سپری شده از آخرین چوب‌کشی در آن‌ها به ترتیب ۱، ۱۰ و ۲۰ سال می‌باشد، انجام شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی پارسل ۱۱۵ بین ۴۸ E درجه و ۴۹ دقیقه ۲۴/۳۱ ثانیه و ۳۷ N درجه ۳۹ دقیقه ۲۱/۸۶ ثانیه، پارسل ۱۲۶ بین ۴۸ E درجه ۴۹ دقیقه ۲۵/۵۱ ثانیه و ۳۷ N درجه ۳۹ دقیقه ۰۷/۰۱ ثانیه، پارسل ۲۲۰ بین ۴۸ E درجه ۴۹ دقیقه ۰۰/۶۴ ثانیه و ۳۷ N درجه ۳۹ دقیقه ۲۱/۵۵ ثانیه واقع شده‌اند، میانگین حداقل ارتفاع از سطح دریا در این سه پارسل ۹۰۷ متر و میانگین حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۳ متر، نوع سنگ مادری گرانیت و بازالت، تپ جنگل راش با سایر گونه‌ها و وضعیت زادآوری متوسط (کتابچه طرح جنگل‌داری جنگل‌های سفارود، ۲۰۰۰)، رژیم رطوبتی منطقه یودیک و رژیم حرارتی آن مزیک (نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، ۱۹۹۸)، کلاس مینرالوژی منطقه Mixed (بهرام‌کلهری، ۲۰۰۸)، میانگین جرم مخصوص ظاهری ۱/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب (محمدمدی، ۲۰۱۱)، متوسط دمای سالانه ۱۵/۶۶ سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۱۴۸۶/۷۵ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی کشور). در این پارسل‌ها، به‌منظور حمل و نقل گرده‌بینه‌ها از سیستم چوب‌کشی زمینی به‌وسیله اسکیدرهای چرخ لاستیکی (تیمبرجک ۴۵۰) به وزن تقریبی ۱۰ تن استفاده می‌شود. برای هر یک از دوره‌های سنی، ۴ مسیر چوب‌کشی با جهت چوب‌کشی روبه پایین انتخاب گردید تنوع شیب طولی در این مسیرها زیاد اما فاقد شیب عرضی بودند. بخش‌هایی از مسیرهای چوب‌کشی که از نظر نور و وضعیت تاج‌پوشش دارای شرایط کم و بیش شبیه به هم بودند، گزینش گردید. در هر مسیر دو طبقه شیب (۰-۲۰ درصد و بیشتر از ۲۰ درصد) و دو طبقه ترافیک (شدید و کم) شناسایی شدند (سلگی، ۲۰۰۷؛ راب، ۲۰۰۴). تیمارهای مورد مطالعه از ترکیب دو طبقه ترافیک، دو طبقه شیب و سه دوره زمانی (یک، ده و بیست سال) به‌دست آمدند. روی پلات‌هایی به ابعاد ۱۲ متر طول و ۵ متر عرض ۴ خط

تصادفی با فاصله ۲/۴ متر از یکدیگر عمود بر جهت حرکت پیاده شد سپس سه خط به‌طور تصادفی انتخاب شد و در دو نقطه روی هر خط (چرخ چپ و راست) و یک نقطه خارج از پلات (شاهد) نمونه‌برداری در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری سطح خاک انجام گرفت (شکل ۱)، لازم به ذکر است که تعداد کل نمونه‌ها ۸۴ عدد بود که در هنگام آنالیز داده‌ها با توجه به عدم وجود شیب جانبی و از بین بردن اثر موقعیت چرخ‌ها، از مقادیر چرخ چپ و راست میانگین گرفته شد.



شکل ۱- روش نمونه‌برداری در پلات‌ها (راب، ۲۰۰۴).

جهت آزمایشات میکرومورفولوژی جعبه‌های کوبینا در ابعاد $8 \times 6 \times 4$ سانتی‌متر مکعب از ورق گالوانیزه یک میلی‌متری ساخته شد و در هر نقطه نمونه‌برداری، به‌وسیله جعبه کوبینا نمونه‌برداری انجام شد. سپس نمونه‌ها به‌وسیله چسپ‌های پهن شیشه‌ای کاملاً بسته‌بندی گردید و روی هر جعبه مشخصات نمونه از جمله شماره نمونه و جهت نمونه‌برداری نوشته شد (فیتز پاتریک، ۱۹۸۴). کلیه نمونه‌ها با احتیاط کامل به آزمایشگاه انتقال یافت. بعد از این‌که نمونه‌ها در هوای اتاق و در سایه به‌طور کامل خشک شدند، نمونه‌های خشک از جعبه کوبینا خارج شده و نمونه‌های سست با جعبه کوبینا داخل ظرف مخصوص تلقیح قرار گرفتند و تمام مشخصات روی جعبه روی ظروف نیز یادداشت گردید و در نهایت مقاطع نازک از نمونه‌ها طی مراحل زیر تهیه شد:

- تلقیح نمونه‌های دست نخورده با رزین

- برش و سایش

- مشاهده، تشریح و تفسیر نمونه‌ها به‌وسیله میکروسکوپ پلاریزان

- بررسی عکس‌های مقاطع نازک با نرم‌افزار UTHSCSA Image Tool.

برای اندازه‌گیری مساحت حفره‌ها در مقاطع متراکم و شاهد، حفره‌ها از نظر سطحی که در یک عکس اشغال می‌کنند به ۴ کلاس کمتر از ۵ میکرومترمربع، ۵-۵۰ میکرومترمربع، ۵۰-۱۰۰ میکرومترمربع و بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع تقسیم شدند. درصد حفره‌ها در هر یک از این طبقه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image Tool تعیین شد. سه کلاس قطر معادل حفره بر حسب میکرومتر برای حفره‌ها مقاطع نازک در نظر گرفته شد و با استفاده از نرم‌افزار Image Tool درصد حفره‌ها در هر یک از این طبقه‌های قطر معادل حفره محاسبه گردید. درصد تخلخل کل خاک مسیرهای چوب‌کشی در هر مقطع نیز با استفاده از نرم‌افزار فوق تعیین شد، به این ترتیب که از هر مقطع تعداد ۱۰ عکس در نور موازی گرفته شد، عکس به صورت نقاط سیاه و سفید در آمد که نقاط سفید معادل حفره‌های خاک و نقاط سیاه نمایانگر سایر بخش‌های مقطع خاک (به غیر از حفرات) بودند. سپس تعداد پیکسل‌های نقاط سیاه و سفید و در نتیجه درصد نقاط سیاه و سفید توسط نرم‌افزار تعیین شد که درصد پیکسل‌های سفید معادل درصد تخلخل کل در هر عکس است و به این ترتیب درصد تخلخل کل در هر عکس تعیین گردید.

این پژوهش در قالب طرح آماری فاکتوریل در پایه بلوک‌های کامل تصادفی (به منظور خشتی کردن اثر تکرار، ۳ تکرار در هر پلات بعد از میانگین گرفتن از داده‌های چرخ چپ و راست) با سه فاکتور سن مسیر چوب‌کشی در سه کلاس (یک، ده و بیست سال)، شیب مسیر در دو کلاس (کمتر از ۲۰ درصد و بیشتر از ۲۰ درصد) و شدت ترافیک در دو سطح (کم و زیاد) انجام شده است. پس از گردآوری اطلاعات، داده‌ها در نرم‌افزار Excel به عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره گردید، به منظور تحلیل آماری مقادیر تخلخل کل و اندازه و درصد حفرات طی سه دوره زمانی، طبقه‌های شیب و سطوح ترافیک از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال توسط آزمون معنی‌داری چولگی بررسی گردید، داده‌های مربوط به درصد حفرات با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع و داده‌های درصد حفرات با قطر معادل بزرگتر از ۱۰ میکرومتر غیرنرمال بوده، برای نرمال کردن این داده‌ها از لگاریتم طبیعی داده‌ها استفاده گردید. برای مقایسه کلی میانگین‌ها از آنالیز واریانس و از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد برای مقایسه‌های چندگانه صورت گرفت.

نتایج

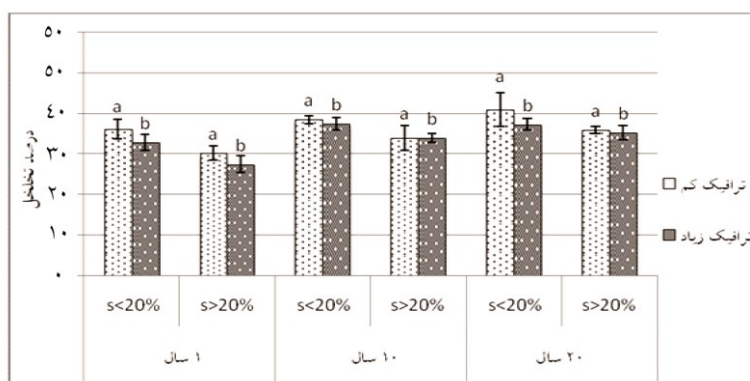
تخلخل خاک مسیرهای چوب‌کشی: نتایج نشان داد که اثر سن، شیب و ترافیک‌های مختلف روی تخلخل و اثرات متقابل دو فاکتور شیب و ترافیک در تغییرات درصد تخلخل کل خاک در سطح یک

درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). بررسی تغییرات تخلخل در سه دوره زمانی (شکل ۲) نشان می‌دهد که تخلخل محاسبه شده با نرم‌افزار در مسیرهای چوب‌کشی کاهش یافته ولی در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد در هر دو کلاسه ترافیک، کمتر از مقادیر آن در شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد. همچنین مقادیر تخلخل در هر سه کلاسه زمانی و دو کلاسه شیب، در شدت ترافیک کم بیشتر از مقادیر آن در شدت ترافیک زیاد می‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مقادیر تخلخل خاک محاسبه شده با نرم‌افزار در مسیرهای چوب‌کشی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P>F
بلوک	۲	۱/۱۰۹	۰/۵۵۴	۰/۹۴۳ ^{ns}	۰/۴۰۵
سال	۲	۱۶۷/۹۷۵	۸۴/۴۸۷	۱۴۳/۷۸۰ ^{**}	۰/۰۰۰۱
شیب	۱	۱۰۹/۴۹۲	۱۰۹/۴۹۲	۱۸۶/۳۳۴ ^{**}	۰/۰۰۰۱
ترافیک	۱	۶۷/۰۴۰	۶۷/۰۴۰	۱۱۴/۰۸۹ ^{**}	۰/۰۰۰۱
سال × شیب	۲	۲/۰۲۰	۱/۰۱۰	۱/۷۱۹ ^{ns}	۰/۲۰۲
سال × ترافیک	۲	۲/۶۴۲	۱/۳۲۱	۲/۲۴۸ ^{ns}	۰/۱۲۹
شیب × ترافیک	۱	۹/۴۷۹	۹/۴۷۹	۱۶/۱۳۲ ^{**}	۰/۰۰۱
سال × شیب × ترافیک	۲	۰/۰۶۱	۰/۰۳۱	۰/۰۵۲ ^{ns}	۰/۹۴۹
خطا	۲۲	۱۲/۹۲۷	۰/۵۸۸		
کل	۳۵	۳۷۳/۷۴۶			

^{**} معرف وجود تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد، ^{ns} عدم وجود تفاوت معنی‌دار.



شکل ۲- روند تغییرات تخلخل محاسبه شده با نرم‌افزار در شیب و تردهای مختلف مسیرهای چوب‌کشی در سه دوره زمانی.

نتایج کاهش تخلخل خاک مسیرهای چوبکشی در مقایسه با شاهد در موقعیت‌های مختلف در سه دوره زمانی در جدول ۲ ارائه شده است. درصد کاهش تخلخل نسبت به شاهد در هر سه دوره زمانی در شیب‌های بیش از ۲۰ درصد بیشتر از شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک‌های زیاد همواره بیشتر از شدت ترافیک‌های کم بود. در هر یک از طبقه‌های ترافیک و شیب با افزایش دوره‌های زمانی، یک کاهش در میزان درصد کاهش تخلخل در مسیرهای چوبکشی در مقایسه با شاهد مشاهده شد.

جدول ۲- درصد کاهش تخلخل خاک مسیرهای چوبکشی در شیب و تردهای مختلف در مقایسه با شاهد.

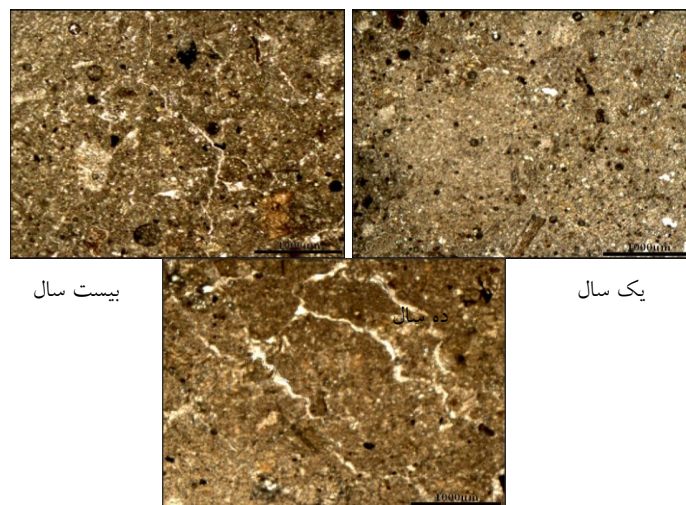
سن مسیر چوبکشی	شیب بیشتر از ۲۰ درصد		شیب کمتر از ۲۰ درصد	
	ترافیک شدید	ترافیک کم	ترافیک شدید	ترافیک کم
۱ سال	۴۷/۵۷	۴۳/۷۷	۴۲/۱	۳۶/۷۵
۱۰ سال	۴۰/۵۵	۴۰/۹۳	۳۷/۶۱	۳۵/۲۷
۲۰ سال	۳۵/۵	۳۳/۷۸	۳۱/۸۵	۳۰/۴۲

نتایج آزمون مقایسه میانگین داده‌های تخلخل محاسبه شده با نرم‌افزار نشان داد که مقادیر آن در موقعیت ۱۰ سال و ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری با هم ندارند اما با موقعیت ۱ سال بعد از برداشت و موقعیت شاهد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). مقایسه تخلخل خاک در مقاطع متراکم در سه دوره زمانی و مقایسه آن‌ها نشان داد که تخلخل خاک در مسیرهای چوبکشی رها شده در طبیعت در مقایسه با ناحیه شاهد با گذشت زمان تمایل به بازیابی داشته به طوری که از ۳۰/۷۲ درصد در سال اول بعد از چوبکشی به ۳۵/۷۹ درصد در سری زمانی سوم یعنی بیست سال بعد از چوبکشی رسید. همچنین شواهد اولیه ایجاد خاکدانه در مقاطع ۱۰ و ۲۰ سال نسبت به مقاطع یک سال مشاهده شد که دلیل ایجاد این شکاف‌ها و سطوح ضعیف ممکن است در اثر وجود دوره‌های مرطوب و خشک شدن و فعالیت ریشه‌ها بوده باشد (شکل ۳).

جدول ۳- روند تغییرات (میانگین \pm اشتباه معیار) تخلخل خاک مسیرهای چوبکشی در سال‌های مختلف پس از بهره‌برداری.

سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری	شاهد	۱ سال	۱۰ سال	۲۰ سال
تخلخل خاک محاسبه شده با نرم‌افزار (درصد)	۵۴/۸۷ \pm ۰/۷۲ ^a	۳۰/۷۲ \pm ۰/۸۵ ^c	۳۴/۶۲ \pm ۰/۶ ^b	۳۵/۷۹ \pm ۰/۶۹ ^b

^a و ^c نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار، ^b نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار.



شکل ۳- عکس‌های مقاطع متراکم در سه دوره زمانی.

مساحت حفرات در مقاطع نازک: نتایج نشان داد که در مورد حفره‌های با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در مقاطع متراکم، تنها اثر سال در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است و در مورد حفرات با مساحت ۵۰-۵ میکرومترمربع اثر سال در سطح یک درصد و اثر متقابل سال و شیب در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین برای حفره‌های با مساحت ۱۰۰-۵۰ میکرومترمربع، اثر سال، شیب و اثر متقابل سال و شیب در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل سال و ترافیک و اثر متقابل هر سه فاکتور سال، شیب و ترافیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. برای حفرات با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع اثر سال، شیب و اثر متقابل سال و شیب و اثر متقابل هر سه فاکتور سال، شیب و ترافیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). شکل ۴ تغییرات درصد مساحت حفرات را در سه دوره زمانی و دو کلاسه شیب و دو کلاسه ترافیک نشان می‌دهد. بررسی تغییرات درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در سه دوره زمانی (شکل ۴- الف) نشان می‌دهد که درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در مقاطع متراکم در تمام موقعیت‌ها افزایش یافته ولی تغییرات آن در شیب‌های مختلف و شدت ترافیک‌های مختلف از روند خاصی پیروی نمی‌کند. در مورد حفرات با مساحت ۵۰-۵ و ۱۰۰-۵۰ میکرومترمربع در تمام موقعیت‌ها درصد این حفرات کاهش یافته است که نشان‌دهنده کاهش درصد این حفرات در اثر فشردگی است (شکل ۴- ب و ج). بررسی روند تغییرات لگاریتم درصد حفرات با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع (شکل ۴- د) نشان می‌دهد که درصد این حفرات کاهش شدیدی یافته است. این کاهش در سال اول بیشترین مقدار و در دوره سوم زمانی کمترین مقدار را دارد.

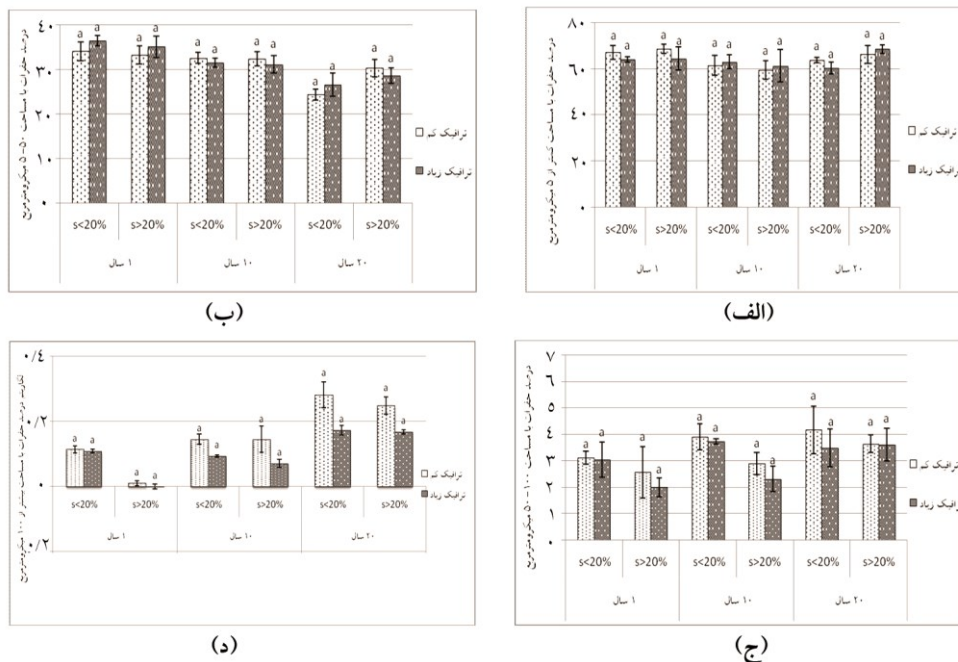
رامین نقدی و همکاران

مقدار این کاهش در شیب‌های بیش از ۲۰ درصد بیشتر از شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد است و در شدت ترافیک‌های شدید نیز بیشتر از شدت ترافیک‌های کم است.

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس داده‌های مساحت حفرات در مسیرهای چوبکشی.

P>F	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات	کلاس مساحت
۰/۰۱۱	۵/۵۲۶*	۷۲/۰۰۷	۱۴۴/۰۱۳	۲	سال	
۰/۲۴۰	۱/۴۵۷ ^{ns}	۱۸/۹۸۴	۱۸/۹۸۴	۱	شیب	
۰/۴۶۵	۰/۵۵۲ ^{ns}	۷/۱۸۸	۷/۱۸۸	۱	ترافیک	درصد حفرات با
۰/۰۶۶	۳/۰۷۶ ^{ns}	۴۰/۰۷۵	۸۰/۱۴۹	۲	سال × شیب	مساحت کمتر از ۵
۰/۲۱۳	۱/۶۶۲ ^{ns}	۲۱/۶۵۴	۴۳/۳۰۷	۲	سال × ترافیک	میکرومترمربع
۰/۴۸۶	۰/۵۰۳ ^{ns}	۶/۵۴۹	۶/۵۴۹	۱	شیب × ترافیک	
۰/۴۷۸	۰/۷۶۴ ^{ns}	۹/۹۵۷	۱۹/۹۱۴	۲	سال × شیب × ترافیک	
۰/۰۰۰۱	۲۵/۴۹۵**	۱۶۰/۴۸۹	۳۲۰/۹۷۸	۲	سال	
۰/۳۲۰	۱/۰۳۶ ^{ns}	۶/۵۲۱	۶/۵۲۱	۱	شیب	
۰/۶۲۸	۰/۲۴۲ ^{ns}	۱/۵۲۰	۱/۵۲۰	۱	ترافیک	درصد حفرات با
۰/۰۴۸	۳/۴۹۷*	۲۲/۰۱۳	۴۴/۰۲۶	۲	سال × شیب	مساحت ۵-۵۰
۰/۳۱۳	۱/۲۲۶ ^{ns}	۷/۷۱۷	۱۵/۴۳۴	۲	سال × ترافیک	میکرومترمربع
۰/۳۶۴	۰/۸۵۹ ^{ns}	۵/۴۱۰	۵/۴۱۰	۱	شیب × ترافیک	
۰/۵۹۸	۰/۵۲۶ ^{ns}	۳/۳۱۱	۶/۶۲۳	۲	سال × شیب × ترافیک	
۰/۰۰۰۱	۱۳/۵۱۴**	۱/۷۰۰	۳/۴۰۰	۲	سال	
۰/۰۰۰۱	۵۸/۴۰۸**	۷/۳۴۹	۷/۳۴۹	۱	شیب	
۰/۱۳۹	۲/۳۵۶ ^{ns}	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۱	ترافیک	درصد حفرات با
۰/۰۰۰۱	۱۱/۰۴۷**	۱/۳۹۰	۲/۷۸۰	۲	سال × شیب	مساحت ۵۰-۱۰۰
۰/۰۳۷	۳/۸۴۱*	۰/۴۸۳	۰/۹۶۶	۲	سال × ترافیک	میکرومترمربع
۰/۰۸۷	۳/۲۰۵ ^{ns}	۰/۴۰۳	۰/۴۰۳	۱	شیب × ترافیک	
۰/۰۱۳	۵/۲۹۳*	۰/۶۶۶	۱/۳۳۲	۲	سال × شیب × ترافیک	
۰/۰۰۰۱	۷۹/۰۷۳**	۰/۲۸۰	۰/۵۶۱	۲	سال	
۰/۰۰۱	۱۵/۰۶۳**	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۱	شیب	لگاریتم درصد
۰/۱۱۰	۲/۷۶۶ ^{ns}	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۱	ترافیک	حفرات با مساحت
۰/۰۰۹	۵/۹۶۱**	۰/۰۲۱	۰/۰۴۲	۲	سال × شیب	بیشتر از ۱۰۰
۰/۲۳۱	۱/۵۶۶ ^{ns}	۰/۰۰۶	۰/۰۱۱	۲	سال × ترافیک	میکرومترمربع
۰/۲۵۴	۱/۳۷۴ ^{ns}	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۱	شیب × ترافیک	
۰/۰۰۰۱	۱۳/۴۷۷**	۰/۰۴۸	۰/۰۹۵	۲	سال × شیب × ترافیک	

**معرف تفاوت معنی دار در سطح یک درصد، *وجود تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد، ^{ns}عدم وجود تفاوت معنی دار.



شکل ۴- روند تغییرات مساحت حفرات در شیب و تردهای مختلف مسیرهای چوبکشی در سه دوره زمانی.

در تمام مسیرهای چوبکشی با افزایش شدت ترافیک، درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است. افزایش درصد این حفرات نسبت به شاهد در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد بیشتر از شیب کمتر از ۲۰ درصد بود. بیشترین افزایش درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در مقایسه با شاهد مربوط به دوره زمانی اول، شیب بیشتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک زیاد و کمترین مقدار افزایش آن نسبت به شاهد در دوره زمانی سوم، شیب کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک کم می‌باشد. در هر یک از طبقه‌های ترافیک و شیب با افزایش دوره زمانی، کاهش در میزان افزایش درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در مقاطع متراکم نسبت به شاهد مشاهده شد. در تمام مسیرهای چوبکشی با افزایش شدت ترافیک، درصد حفرات با مساحت ۵۰-۱۰۰، ۵-۵۰ و بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است و مقادیر کاهش درصد این حفرات نسبت به شاهد در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد بیشتر از مقادیر آن در شیب کمتر از ۲۰ درصد بود. بیشترین کاهش درصد این حفرات در مقایسه با شاهد

مربوط به دوره زمانی اول، شیب بیشتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک زیاد و کمترین مقدار کاهش آن نسبت به شاهد در دوره زمانی سوم، شیب کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک کم می‌باشد. بیشترین درصد کاهش لگاریتم حفرات با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع نسبت به شاهد ۹۹/۹۴ درصد است که در موقعیت یک سال بعد از آخرین چوب‌کشی زمینی، شیب بیشتر از ۲۰ درصد و در شدت ترافیک زیاد می‌باشد. کمترین درصد کاهش آن نسبت به شاهد ۵۹/۲۹ درصد است که در شیب کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک کم با گذشت حداکثر ۲۰ سال از زمان آخرین چوب‌کشی زمینی می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵- درصد تغییرات مساحت حفرات در شیب و تردهای مختلف در مقایسه با ناحیه شاهد.

شیب کمتر از ۲۰ درصد		شیب بیشتر از ۲۰ درصد		سن مسیر چوبکشی	کلاس مساحت
ترافیک کم	ترافیک شدید	ترافیک کم	ترافیک شدید		
+۱۹/۸۴	+۲۶/۴۱	+۲۰/۳۳	+۳۲/۲۵	۱ سال	درصد تغییرات حفرات با
+۷/۲۹	+۱۸/۰۵	+۱۸/۷۹	+۲۸/۹۵	۱۰ سال	مساحت کمتر از
+۲/۸۳	+۷/۵۹	+۱۴/۰۰	+۱۴/۴۵	۲۰ سال	۵ میکرومترمربع
-۱۰/۹۳	-۱۷/۳۹	-۲۱/۹۸	-۲۷/۳۴	۱ سال	درصد تغییرات حفرات با
-۶/۶۹	-۱۴/۸۷	-۸/۷۸	-۱۸/۸۲	۱۰ سال	مساحت ۵-۵۰ میکرومترمربع
-۲/۸۲	-۳/۰۲	-۸/۱۸	-۸/۶۹	۲۰ سال	
-۴۹/۹۹	-۵۸/۶۹	-۵۹/۵۳	-۷۳/۱۹	۱ سال	درصد تغییرات حفرات با
-۳۶/۲۰	-۴۴/۰۱	-۴۷/۲۵	-۴۸/۵۵	۱۰ سال	مساحت ۵۰-۱۰۰
-۲۸/۸۶	-۲۹/۰۶	-۳۲/۷۶	-۴۲/۶۵	۲۰ سال	میکرومترمربع
-۸۷/۲۰	-۸۹/۶۷	-۹۸/۴۹	-۹۹/۹۴	۱ سال	درصد تغییرات لگاریتم
-۷۹/۳۹	-۸۱/۲۸	-۷۷/۳۵	-۸۵/۰۳	۱۰ سال	حفرات با مساحت بیشتر از
-۵۹/۲۹	-۷۸/۱۵	-۶۵/۵۷	-۷۶/۷۱	۲۰ سال	۱۰۰ میکرومترمربع

+ معرف درصد افزایش حفرات، - معرف درصد کاهش.

درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در هر سه دوره زمانی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد داشت به طوری که مسیر یک ساله دارای بیشترین مقدار و مسیر ۱۰ سال دارای کمترین مقدار

بود. بررسی داده‌های مربوط درصد حفرات با مساحت ۵-۵۰ و ۵۰-۱۰۰ میکرومترمربع در سال‌های مختلف پس از بهره‌برداری بیانگر این مساله است که مقادیر آن‌ها بعد از گذشت ۲۰ سال هنوز به مقدار آن در ناحیه شاهد نرسیده است. نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد که مقادیر آن‌ها در تمامی موقعیت‌ها دارای اختلاف معنی‌دار باشد ولی موقعیت ۱ سال، ۱۰ سال و ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. نتایج آزمون مقایسه میانگین لگاریتم داده‌های درصد حفرات با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع نشان داد که موقعیت ۱۰ سال و ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری با هم ندارند ولی با موقعیت ۱ سال و مقادیر آن در موقعیت شاهد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶- روند تغییرات (میانگین \pm اشتباه معیار) مساحت حفرات در سال‌های مختلف پس از بهره‌برداری.

سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری				کلاس مساحت
سال ۲۰	سال ۱۰	سال ۱	شاهد	
۶۴/۷۹ \pm ۱/۱۲ ^{ab}	۶۱/۴ \pm ۰/۹ ^b	۶۶/۱۶ \pm ۱/۳ ^{۱a}	۵۴/۹۵ \pm ۰/۸۴ ^c	درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع
۳۲/۵ \pm ۰/۸ ^{۱b}	۳۱/۹۴ \pm ۰/۷ ^b	۳۴/۷۵ \pm ۰/۷ ^{۱b}	۳۷/۹۲ \pm ۰/۹ ^{۱a}	درصد حفرات با مساحت ۵-۵۰ میکرومترمربع
۳/۰۶ \pm ۰/۲۶ ^b	۳/۷۳ \pm ۰/۱۳ ^b	۳/۰۹ \pm ۰/۲ ^{۱b}	۶/۱۶ \pm ۰/۱۶ ^a	درصد حفرات با مساحت ۵۰-۱۰۰ میکرومترمربع
۰/۲۵ \pm ۰/۰۲ ^b	۰/۲۲ \pm ۰/۰۲ ^b	۰/۰۴ \pm ۰/۰۱ ^c	۰/۶۹ \pm ۰/۰۲ ^a	لگاریتم درصد حفرات با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع

^a و ^c نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار، ^b نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار.

قطر معادل حفرات در مقاطع نازک: تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به درصد حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ و ۱۰-۲ میکرومتر، نشان داد که تنها اثر سال در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است و نتایج درصد حفرات با قطر معادل بزرگتر از ۱۰ میکرومتر نشان می‌دهد که اثر سال، شیب و اثر متقابل سال و شیب در سطح یک درصد، معنی‌دار است (جدول ۷).

رامین نقدی و همکاران

جدول ۷- جدول تجزیه واریانس داده‌های قطر معادل حفرات در مسیرهای چوبکشی.

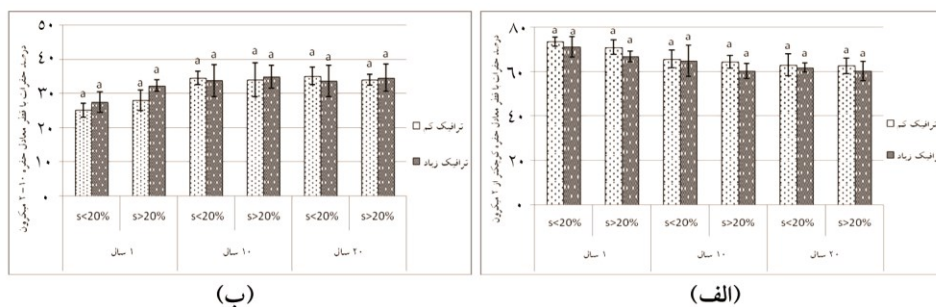
P>F	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات	کلاس قطر معادل حفرات
۰/۰۰۰۱	۲۲/۴۸۷**	۱۹۳/۱۱۱	۳۸۶/۲۲۱	۲	سال	درصد حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ میکرومتر
۰/۱۰۷	۲/۸۲۷ ns	۲۴/۲۷۴	۲۴/۲۷۴	۱	شیب	
۰/۱۷۸	۱/۹۴۰ ns	۱۶/۶۵۹	۱۶/۶۵۹	۱	ترافیک	
۰/۲۸۱	۱/۳۴۷ ns	۱۱/۵۶۴	۲۳/۱۲۸	۲	سال × شیب	
۰/۲۷۵	۱/۳۷۲ ns	۱۱/۷۷۹	۲۳/۵۵۸	۲	سال × ترافیک	
۰/۱۳۵	۲/۴۰۴ ns	۲۰/۶۴۵	۲۰/۶۴۵	۱	شیب × ترافیک	
۰/۷۴۰	۰/۳۰۵ ns	۲/۶۲۰	۵/۲۳۹	۲	سال × شیب × ترافیک	
۰/۰۰۰۱	۲۰/۶۹۱**	۱۶۹/۲۸۵	۳۳۸/۵۷۱	۲	سال	درصد حفرات با قطر معادل ۱۰-۲ میکرومتر
۰/۰۶۸	۳/۶۹۶ ns	۳۰/۲۳۷	۳۰/۲۳۷	۱	شیب	
۰/۱۳۲	۲/۴۵۲ ns	۲۰/۰۶۲	۲۰/۰۶۲	۱	ترافیک	
۰/۲۵۲	۱/۴۶۹ ns	۱۲/۰۱۶	۲۴/۰۳۲	۲	سال × شیب	
۰/۳۰۲	۱/۲۶۳ ns	۱۰/۳۳۶	۲۰/۶۷۱	۲	سال × ترافیک	
۰/۱۴۰	۲/۳۴۷ ns	۱۹/۲۰۴	۱۹/۲۰۴	۱	شیب × ترافیک	
۰/۸۰۰	۰/۲۲۶ ns	۱/۸۴۶	۳/۶۹۱	۲	سال × شیب × ترافیک	
۰/۰۰۰۱	۱۷/۷۷۰**	۰/۰۹۵	۰/۱۹۰	۲	سال	لگاریتم درصد حفرات با قطر معادل بزرگتر از ۱۰ میکرومتر
۰/۰۰۶	۹/۳۳۱**	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۱	شیب	
۰/۰۴۵	۴/۵۰۷*	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۱	ترافیک	
۰/۰۰۲	۸/۱۰۲**	۰/۰۴۳	۰/۰۸۷	۲	سال × شیب	
۰/۴۰۶	۰/۹۴۰ ns	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۲	سال × ترافیک	
۰/۹۲۵	۰/۰۰۹ ns	۴/۹×۱۰-۵	۴/۹×۱۰-۵	۱	شیب × ترافیک	
۰/۳۱۱	۱/۲۳۲ ns	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۲	سال × شیب × ترافیک	

** معرف تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد، * وجود تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار.

شکل ۵ بررسی تغییرات درصد قطر معادل حفرات را در سه دوره زمانی نشان می‌دهد. درصد حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ میکرومتر در تمام موقعیت‌ها بیشتر (شکل ۵- الف) و درصد حفرات

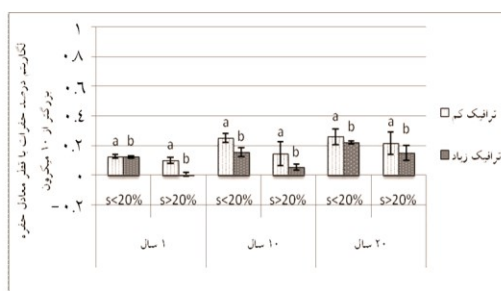
با قطر معادل ۱۰-۲ میکرومتر در تمامی موقعیت‌ها کمتر بوده (شکل ۵-ب) که نشان‌دهنده کاهش درصد این حفرات در اثر فشردگی است.

بررسی روند تغییرات لگاریتم درصد حفرات با قطر معادل بزرگتر از ۱۰ میکرومتر نشان می‌دهد (شکل ۵-ج) که درصد این حفرات کاهش شدیدی یافته است. این کاهش در سال اول بیشترین مقدار و در دوره سوم زمانی کمترین مقدار را دارد. مقدار این کاهش در شیب‌های بیش از ۲۰ درصد بیشتر از شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد است و در شدت ترافیک‌های شدید نیز بیشتر از شدت ترافیک‌های کم است.



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۵- روند تغییرات قطر معادل حفرات در شیب و تردهای مختلف مسیرهای چوبکشی در سه دوره زمانی.

نتایج تغییرات قطر معادل حفرات در مقاطع متراکم در مقایسه با شاهد در جدول ۸ ارائه شده است. درصد حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ میکرومتر در مقاطع متراکم در مقایسه با شاهد در موقعیت‌های مختلف در سه دوره زمانی با افزایش شدت ترافیک، افزایش پیدا کرده است. همچنین

مقادیر افزایش درصد حفرات نسبت به شاهد در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد بیشتر از مقادیر آن در شیب کمتر از ۲۰ درصد است. بیشترین افزایش درصد حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ میکرومتر در مقایسه با شاهد مربوط به دوره زمانی اول، شیب بیشتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک زیاد و کمترین مقدار افزایش آن نسبت به شاهد در دوره زمانی سوم، شیب کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک کم می‌باشد. در هر یک از طبقه‌های ترافیک و شیب به ترتیب سه دوره زمانی، یک کاهش در میزان افزایش درصد حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ میکرومتر در مقاطع متراکم نسبت به شاهد مشاهده می‌شود. درصد حفرات با قطر معادل ۱۰-۲ و بزرگتر از ۱۰ میکرومتر در مقاطع متراکم در مقایسه با شاهد کاهش یافته است و بیشترین مقدار درصد کاهش این حفرات در مقایسه با شاهد مربوط به دوره زمانی اول، شیب بیشتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک زیاد و کمترین مقدار درصد کاهش آن نسبت به شاهد در دوره زمانی سوم، شیب کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک کم می‌باشد. بیشترین درصد کاهش حفرات با قطر معادل بزرگتر از ۱۰ میکرومتر نسبت به شاهد ۹۹/۳۵ درصد است و کمترین درصد کاهش آن نسبت به شاهد ۶۵/۳۴ درصد است که در شیب کمتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک کم با گذشت حداکثر ۲۰ سال از زمان آخرین چوب‌کشی زمینی می‌باشد.

جدول ۸- درصد تغییرات قطر حفرات در شیب و تردهای مختلف در مقایسه با ناحیه شاهد.

شیب کمتر از ۲۰ درصد		شیب بیشتر از ۲۰ درصد		سن مسیر چوب‌کشی	کلاس قطر معادل حفرات
ترافیک کم	ترافیک شدید	ترافیک کم	ترافیک شدید		
+۲۲/۲۵	+۲۸/۹۰	+۲۹/۳۸	+۳۶/۱۴	۱ سال	درصد تغییرات حفرات با قطر معادل حفره کوچکتر از ۲ میکرون
+۱۷/۶۰	+۱۸/۳۷	+۲۱/۹۰	+۲۶/۴۶	۱۰ سال	
+۶/۸۱	+۱۷/۲۸	+۱۹/۷۶	+۲۱/۶۴	۲۰ سال	
-۱۸/۴۱	-۳۰/۱۶	-۳۲/۴۸	-۳۸/۰۹	۱ سال	درصد تغییرات حفرات با قطر معادل حفره ۱۰-۲ میکرون
-۱۴/۲۷	-۱۶/۱۱	-۲۳/۸۹	-۳۱/۸۷	۱۰ سال	
-۴/۷۵	-۱۲/۸۳	-۱۷/۶۷	-۱۸/۹۹	۲۰ سال	
-۸۳/۸۸	-۹۲/۷۰	-۸۸/۰۹	-۹۹/۳۵	۱ سال	درصد تغییرات لگاریتم حفرات با قطر معادل حفره بزرگتر از ۱۰ میکرون
-۷۰/۱۶	-۸۰/۴۹	-۷۹/۹۵	-۸۳/۶۹	۱۰ سال	
-۶۵/۳۴	-۶۶/۵۴	-۶۵/۷۲	-۷۸/۰۳	۲۰ سال	

+ معرف درصد افزایش حفرات، - معرف درصد کاهش.

جدول ۹ روند تغییرات درصد قطر معادل حفرات را در سال‌های مختلف بهره‌برداری نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین داده‌های حفرات با قطر معادل کمتر از ۲ میکرومتر نشان می‌دهد که مقادیر آن در هر سه دوره زمانی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد دارند. موقعیت ۱۰ سال و ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری با هم ندارند ولی با موقعیت ۱ سال دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. بررسی مقایسه میانگین داده‌های درصد حفرات با قطر معادل ۱۰-۲ و بزرگتر از ۱۰ میکرومتر در مسیرهای چوب‌کشی نشان داد که موقعیت ۱۰ سال و ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری با هم ندارند ولی با موقعیت ۱ سال و مقادیر آن در موقعیت شاهد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۹- روند تغییرات (میانگین \pm اشتباه معیار) قطر معادل حفرات در سال‌های مختلف پس از بهره‌برداری.

سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری				کلاس قطر معادل حفرات
۲۰ سال	۱۰ سال	۱ سال	شاهد	
$64/22 \pm 0/73^b$	$63/29 \pm 0/94^b$	$70/66 \pm 1/13^a$	$54/1 \pm 0/57^c$	درصد حفرات با قطر معادل حفره کوچکتر از ۲ میکرون
$34/34 \pm 0/73^b$	$35/04 \pm 0/87^b$	$28/21 \pm 1/16^c$	$44/3 \pm 0/71^a$	درصد حفرات با قطر معادل حفره ۱۰-۲ میکرون
$0/15 \pm 0/02^b$	$0/21 \pm 0/03^b$	$0/04 \pm 0/01^c$	$0/74 \pm 0/01^a$	لگاریتم درصد حفرات با قطر معادل حفره بزرگتر از ۱۰ میکرون

^a و ^c نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار، ^b نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار.

بحث

تجزیه و تحلیل مجموع تخلخل خاک در مسیر چوب‌کشی در دو شیب کمتر از ۲۰ درصد و بیشتر از ۲۰ درصد اثرات نامطلوب بهره‌برداری جنگل را به‌خوبی در این مناطق نشان داد. به‌طوری که در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد کاهش تخلخل خاک همواره بیشتر از شیب‌های زیر ۲۰ درصد بود. این نتایج با نتایج سلگی ۲۰۰۷ در مطالعه تخریب خاک در نواحی شیب‌دار هم‌خوانی دارد. در نواحی شیب‌دار به‌دلیل ناکافی بودن استحکام خاک، کمتر شدن سرعت ماشین و به هم‌خوردگی تعادل ماشین در این نواحی به نسبت نواحی مسطح، خاک مدت زمان بیشتری تحت ویبره و تنش قرار می‌گیرد. چنانکه مورفی (۱۹۸۴) و کراگ و همکاران (۱۹۸۶) اعلام کردند که تخریب در این نواحی تقریباً دو

تا سه برابر بیشتر از نواحی مسطح می‌باشد. در تمام مسیرهای چوبکشی با افزایش شدت ترافیک میزان تخلخل خاک کم شد به طوری که در هر مسیر چوبکشی، ترافیک شدید دارای کمترین تخلخل بود که با نتایج استارتزو و مک‌نوب (۲۰۰۱) و راب (۲۰۰۴) مطابقت دارد این اثرات بر روی بازیابی تخلخل بعد از گذشت ۲۰ سال هم‌چنان باقی‌ماند به طوری که در دوره زمانی ۲۰ سال مقادیر تخلخل در ترافیک شدید کمتر از مقادیر آن در ترافیک کم بود.

عدم بازیابی تخلخل را می‌توان به دلایلی از جمله بالا بودن مقدار جرم مخصوص پس از ۲۰ سال، فزونی تعداد تردها، و وزن ناشی از ماشین آلات بر روی خاک، شرایط اقلیمی و اداپتیکی، فعالیت کم موجودات خاکزی در این مناطق مرتبط دانست (راب و همکاران، ۲۰۰۵؛ دمیر و همکاران، ۲۰۰۷). ویلپرت و اسپنجر (۲۰۰۶) در مطالعه اثرات اکولوژیکی کوبیدگی و بازیابی اولیه آن در آلمان نشان دادند که برای بازیابی کوبیدگی ناشی از تردد ماشین آلات در توده‌های جوان و پیر حدود (۳۰-۴۰) سال و برای بازیابی تخلخل خاک حداقل ۱۰ سال زمان لازم است.

نمونه‌های متراکم به علت تردد ماشین‌آلات در سطح خاک و فشار ناشی از وزن بالای آن‌ها، ذرات خاک به هم نزدیک شده و فضای خلل و فرج خاک کاهش یافت؛ این موضوع همچنین باعث شکسته شدن خاکدانه‌های موجود شد و آن‌ها را به خاکدانه‌های کوچک تبدیل کرد که فضای حفرات را پر نمودند. به این ترتیب بازمی‌آید از تخلخل کل خاک کاسته شد که این نتایج با نتایج بهرام کلهری ۲۰۰۸ و سوسنجر ۲۰۰۶ مطابقت داشت. میانگین درصد حفرات در طبقه‌های مساحت ۵۰-۵، ۱۰۰-۵۰ و بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع در مقاطع شاهد و در کلاس مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع در مقاطع متراکم بیشتر بود. یعنی تراکم باعث کاهش سطح حفرات و از بین رفتن حفرات با مساحت بزرگتر در خاک شد. همچنین در مقاطع متراکم درصد حفرات با مساحت ۱۰۰-۵۰ و بیشتر از ۱۰۰ میکرومترمربع در طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله افزایش پیدا کرد؛ ولی درصد حفرات با مساحت کمتر از ۵ میکرومترمربع تغییر چندانی نشان نداد. این تفاوت در میزان بازیابی منافذ درشت، می‌تواند به سطح اولیه تراکم، پوشش گیاهی، نوع خاک و شرایط آب و هوایی مربوط باشد.

روند تغییرات میانگین حفرات در هر سه کلاس قطر معادل در طی سه دوره زمانی، تقریباً مشابه بود. به گونه‌ای که میانگین قطر معادل حفرات در هر سه دوره زمانی تفاوت معنی‌داری را در سطح یک درصد نسبت به شاهد نشان داد؛ اما مقادیر آن در دوره زمانی ۱۰ سال و ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری را نسبت به هم نداشت. درصد حفرات در کلاس قطر معادل کمتر از ۲ میکرون در هر سه دوره زمانی

نسبت به شاهد بیشتر بود. و این نشان‌دهنده افزایش درصد این حفرات در اثر تراکم است. این افزایش با گذشت ۲۰ سال در حال بازیابی و نزدیک شدن به مقادیر شاهد بود. میانگین درصد حفرات در کلاس قطر معادل ۱۰-۲ میکرون و بزرگتر از ۱۰ میکرون در هر سه دوره زمانی نسبت به شاهد کمتر بود که نشان‌دهنده کاهش درصد این حفرات در اثر فشردگی است. میانگین درصد این حفرات نیز بعد از گذشت ۲۰ سال در حال نزدیک شدن به مقادیر شاهد بود.

نتیجه‌گیری

چوب‌کشی زمینی به‌عنوان معمول‌ترین روش مورد استفاده در حمل و نقل اولیه مقطوعات جنگلی در جنگل‌های شمال ایران، می‌تواند باعث ایجاد صدمات گسترده در خاک و تغییر خصوصیات آن شود و همچنان که نشان داده شد حتی پس از گذشت یک دوره طولانی از عملیات چوب‌کشی نیز صدمات وارد به خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک مشهود است. این خصوصیات در مسیرهای چوب‌کشی نسبت به منطقه بدون تردد دارای اختلافاتی است که حتی پس از ۲۰ سال نیز اثرات مخرب خود را حفظ کرده‌اند. به‌طور حتم، این امر، بخش زیادی از توان رویشگاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شیب طولی مسیر و شدت ترافیک در میزان بازیابی این خصوصیات خاک نیز تأثیر به‌سزایی داشته است. به‌طوری‌که شدیدترین آسیب به خاک در مسیرهای چوب‌کشی در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و شدت ترافیک زیاد مشاهده شد. اثرات آن‌ها بعد از ۲۰ سال هم‌چنان در بازیابی خاک‌های تراکم یافته پابرجاست. این نتایج توسط راب ۲۰۰۵ نیز گزارش داده شده است؛ به‌طوری‌که تخریب در مناطق شیب‌دار تقریباً ۲ تا ۳ برابر و مدت زمان لازم برای بازیابی نیز بیشتر از نواحی مسطح بوده است. همچنین نجفی و همکاران ۲۰۰۹ با انجام تحقیقی در خصوص شدت تردد، تغییرات شیب و اثر متقابل آن‌ها بر میزان تخریب خصوصیات خاک در اثر عملیات چوب‌کشی زمینی، بیشترین تخریب خاک را به مناطق پر شیب نسبت دادند. به طوری‌که در در تحقیق آن‌ها، با یک شدت تردد ثابت، به‌هنگام افزایش درصد شیب، مسیر چوب‌کشی میزان تخریب خاک از نظر وسعت و شدت افزایش یافته است. **پیشنهادات اجرایی و پژوهشی:** تحقیقاتی از این دست که در خصوص تخریب و تحولات خاک انجام می‌شود عموماً به‌عنوان راهنمایی جهت کاهش اثرات منفی تردد ماشین‌آلات بر روی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بدین لحاظ، می‌توان از انتخاب ماشین‌آلات مناسب و طراحی مسیرهای دقیق و

دایمی چوب‌کشی، قطع درختان در جهت مناسب و آموزش رانندگان ماشین‌آلات چوب‌کشی به‌عنوان راه‌کارهای اساسی نام برد.

انجام تحقیقی مشابه در شرایط کنترل شده. به‌عنوان پیشنهاد می‌توان در مسیری قبل از تردد ماشین‌آلات، اقدام به نمونه‌گیری خاک و تعیین خواص آن کرد و مجدداً پس از پایان عملیات چوب‌کشی نیز اقدام به این کار نمود. در نهایت با قرق مسیر و جلوگیری از هر گونه استفاده از آن، طی سال‌ها یا دوره‌هایی نمونه‌گیری از مسیر را تکرار کرد. با بررسی اطلاعات جمع‌آوری شده، می‌توان به درک صحیحی از فرآیند بازیابی رسید.

انجام تحقیقی مشابه در شرایط متفاوت. این شرایط، می‌تواند مربوط به میزان ارتفاع، بارندگی، پوشش گیاهی و تیپ خاک باشد. این پژوهش پیشنهادی برای ارزیابی نحوه تأثیر عوامل یاد شده بر فرآیند بازیابی مفید خواهد بود.

بررسی نوع تجدید حیات، زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی نهال‌های مستقر شده در مسیرهای رها شده پس از عملیات چوب‌کشی طی سالیان مختلف؛ ضرورت انجام چنین پژوهشی در این حوزه احساس می‌شود.

منابع

- ۱- بی‌نام، ۱۳۷۷. نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۲- بی‌نام. ۱۳۷۹. کتابچه طرح جنگل‌داری جنگل‌های شفارود (سری یک و دو ناو اسالم).
- ۳- سازمان هواشناسی کشوری، آمار ایستگاه سینوپتیک آستارا، <http://www.irimo.ir>.
4. Ares, A., Terry, T.A., Miller, R.E., Flaming, B.L., and Anderson, H.W. 2005. Ground-based forest harvesting effects on soil physical properties and Douglas-fir growth. *Soil Science*. 69: 1822-1832.
5. Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, W.M., and Verheyen, K. 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management*. 241: 162-174.
6. Bahrmkhalori, S. 2008. Investigation machines traffic impact on some physical and micromorphology properties of forest soils (Guilan province). Master science thesis. University of guilan. 200p.

7. Demir, M., Makineci, E., and Yilmaz, E. 2007. Investigation of timber harvesting impacts on herbaceous forest and surface soil properties on skid road in an oak (*Quercus Petrea L.*) stand. *Building and Environment*, 42: 1194-1199.
8. Eisenbies, M.H., Aust, W.M., Burger, J.A., and Adams, M.B. 2007. Forest Operations, Extreme Flooding Events, and Considerations for Hydrologic Modeling in the Appalachians-A review, *Forest Ecology and Management*. 242: 77-98.
9. Fitzpatrick, E.A. 1984. *Micromorphology of Soil* Chapman and Hall. 427PP. Greacen, E.L. and R. Sands. 1980. Compaction of forest soils. A review. *Australian Journal of Soil Research*. 18: 163-189.
10. Hubbard, V.C., Jordan, D., and Ponder, F. 2003. Effect of soil compaction forest leaf litter and nitrogen fertilizer on two oak species and microbial activity. *Applied Soil Ecology*. 23(1): 33-41.
11. Kapur, S., Mermut, A., and Stoops, G. 2008. New Trends in Soil Micromorphology. Pp: 5-18.
12. Krage, R., Higging, B.K., and Rottwell, R. 1986: Logging and Soil Disturbance in Southeast British Columbia, *Canadian Journal of Forest Research*. 16: 1345-1354.
13. Mohammadi, Z. 2011. Natural recovery assessment of micromorphological and physical properties of forest soil disturbed by ground-base skidding and their effects on forest regeneration. Master science thesis. University of guilan. 129p.
14. Murphy, G. 1984. A survey of soil disturbance caused by harvesting machinery in New Zealand plantation forests. *FRI Bull.* 69, Forest Res. Inst., Rotorua, New Zealand.
15. Najafi, A., Solgi, A., and Sadeghi, S.H. 2009: Effect of Ground Skidding and Skid Trail Slope on Soil Disturbance. *Soil and Tillage Research*. 103: 165-169
16. Rab, M.A. 2004. Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. *Forest Ecology and Management*. 191: 329-340.
17. Rab, A., Bradshaw, J.R., Campbell, and Murphy, S. 2005. Review of Factors Affecting Disturbance, Compaction and Trafficability of Soils with Particular Reference to Timber Harvesting in the Forests of South-West Western Australia. Department of Conservation and Land Management SFM Technical Report No. 2. 160p.
18. Solgi, A. 2007. Evaluation of Forest Soil Disturbance Caused by Skidder HSM904. M.Sc. thesis, College of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Iran, 82p. (In Persian)
19. Startsev, A.D., and McNabb, D.H. 2001. Skidder traffic effects on water retention, pore-size distribution, and van genuchten parameters of Boreal forest soils. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 224-231.

20. Susnjar, M., Horvat, D., and Seselj, J. 2006. Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Journal of Forest Engineering*. 27: 3-15.
21. Webb, R.H. 2002. Recovery of severely compacted soils in the Mojave desert, California (U.S.A). *Arid Land Research and Management*. 16: 291-305.
22. Wilpert, K.V., and Schäffer, J. 2006: Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *European Journal of Forest Research*. 125: 129–138.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (1), 2015
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Natural recovery of some soil micromorphological properties of skid trails for twenty years period (Case study: Asalem forest, Guilan province)

***R. Naghdi¹, Z. Mohammadi², M. Akef³ and I. Bagheri⁴**

¹Associate Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Iran, ²M.Sc. Graduate, Dept., of Soil Science, Faculty of Agriculture Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, ³Assistant Prof., Dept., of Soil Science, Faculty of Agriculture Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, ⁴Assistant Prof., Dept., of Agricultural Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 3/17/2013 ; Accepted: 3/4/2015

Abstract

Using modern machinery for logging transfer considerable pressure to the soil which causes changes and damages to soil structure. This inturn has long- term effect on micromorphological properties including size and type of soil pores. This research was conducted to examine the recovery of skid trails soil during twenty years period. The treatments included three time period (1, 10 and 20 years), two slope classes (>20% and <20%) and two traffic levels (high and low). The plots of 12×5 m² dimensions were considered and in each sample plot undisturbed samples were taken from skid trails and control. Soil thin sections were prepared from these samples. Soil thin sections were studied using polarized microscope. The total porosity of soil, area and diameter of voids were determined by Image Tool software. Results showed that 20 years after skidding operation the micromorphological properties of compacted soil have not recovered yet and are significantly different compared to control and for a complete recovery they need more time. Slope and traffic intensity have important effect on recovery of this properties and most disturbance to soil is observed in skid trails with slope >20% and high traffic intensity.

Keywords: Natural recovery, Skid trails, Soil micromorphological properties, polarized microscope

*Corresponding author: maghdi@guilan.ac.ir