Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 1, 2025 p: 97-107

OPEN ACCESS

Research Paper

Estimating the Amount of Runoff and Soil Erosion According to the Soil Properties and the Slope of the Skid Trails. Case Study: Loveh Forest, Golestan Province

Mostafa Moghadami Rad[1] and Vahid Rizvandi[2]

1- Expert, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province, Gorgan, Iran, (Corresponding author: moghadami.mostafa@yahoo.com)
2- Expert, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran

Received:25 June, 2024 Revised: 28 August, 2024 Accepted: 13 October, 2024

Extended Abstract

Background: In recent decades, the escalating impacts of climate change, coupled with increasing anthropogenic pressures particularly in forest ecosystems—have raised significant concerns regarding the degradation of vital natural resources, such as soil and water. Among these pressures, logging operations, especially timber extraction via skid trails, result in substantial physical disturbances to the soil structure and surface hydrological behavior. These activities, create conditions conducive to enhanced surface erosion and runoff generation through soil compaction, reduction of vegetative cover, and increased effective slope. Hydrological and geomorphological processes, such as the transformation of rainfall into runoff and sediment transport, are strongly influenced by soil properties, slope gradient, rainfall intensity, and land-use practices. Consequently, examining both the individual and interactive effects of these factors, particularly in ecologically sensitive forested regions, is essential for formulating sustainable land management strategies. This study aims to quantitatively and qualitatively assess the influence of soil properties and slope gradients on runoff generation, sediment yield, and rill erosion along skid trails in Compartments 106 and 107 of the Loohe Forest Management Plan in northern Iran. The research endeavors to enhance our understanding of the environmental implications of timber extraction and provide a scientific foundation for the sustainable management of soil and water resources.

Methods: To meet the study objectives, the skid trails were categorized into five slope classes: less than 5%, 5–10%, 10–15%, 15–20%, and 20–25%. Three treatment types: (1) wheel track (machinery path), (2) trail centerline, and (3) undisturbed control area (natural forest without anthropogenic interference) were identified within each slope class. Soil samples were collected at three depths (0–10 cm, 10–20 cm, and 20–30 cm) from each treatment using steel cylinders. Physical soil parameters, including texture, bulk density, porosity, and gravimetric moisture content, as well as chemical properties (such as organic matter content and electrical conductivity), were analyzed in this research. To simulate hydrological processes, a rainfall simulator was employed to deliver precipitation at an intensity of 65 mm/h for 30 min, reflecting a 10-year return interval for the region. Hydrological and erosional variables, including runoff volume, time to runoff initiation, runoff coefficient, sediment concentration and yield, and rill dimensions (depth and width), were measured and recorded after simulated rainfall application. Statistical analysis of the data was conducted using the Analysis of Variance (ANOVA) and mean comparison tests at a 5% significance level to evaluate both main and interaction effects.

Results: The results indicated statistically significant differences ($p < 0.05$) among treatments (wheel track, trail center, and control) and slope classes for most of the measured variables, including runoff volume, sediment yield and concentration, runoff coefficient, runoff initiation time, and rill erosion intensity. The highest values of runoff and sediment yield were recorded in the wheel track treatment, identified as the most compacted and disturbed area due to repeated machinery traffic, particularly on slopes exceeding 20%. In contrast, the control plots, characterized by natural vegetation and the absence of mechanical disturbance, exhibited the lowest values across all variables. Soil compaction in the wheel tracks, evidenced by increased bulk density and reduced porosity, resulted in a marked decrease in infiltration capacity, thereby promoting increased surface runoff. The interaction between soil properties and slope gradient significantly influenced the hydrological and erosional responses; steeper slopes amplified the negative effects of soil compaction on runoff and sediment production.

Copyright ©2025 Moghadami Rad and. Rizvandi Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

Moreover, runoff volume demonstrated greater responsiveness to environmental changes compared to sediment yield, reacting more rapidly and directly to alterations in physical conditions. This suggests that runoff may serve as a reliable early indicator for identifying areas at risk of erosion in disturbed forest environments.

Conclusion: The findings of this study underscore that timber extraction via skid trails significantly alters soil physical characteristics due to mechanical compaction and, when combined with steep slopes, exacerbates runoff, sediment generation, and rill erosion processes. The wheel track treatment emerged as the most vulnerable area hydrologically and erosively due to its elevated soil compaction. These results highlight the urgent need to reevaluate the planning and implementation of skid trails, advocating for protective measures, such as revegetation, mechanical soil stabilization, slope limitation, and designated routes for machinery movement. Ultimately, this research provides a scientific basis for the development of technical guidelines aimed at promoting sustainable forest management and conserving natural resources in mountainous regions. The outcomes may serve as a valuable resource for forest managers, natural resource engineers, and policymakers.

Keywords: Loveh Forestry plan, Rain Simulator, Runoff, Sediment, Soil Characteristics

How to Cite This Article: Moghadami Rad, M., & Rizvandi, V. (2025). Estimating the Amount of Runoff and Soil Erosion According to the Soil Properties and the Slope of the Skid Trails. Case Study: Loveh Forest, Golestan Province. *Ecol Iran For,* 13(1), 97-107. DOI: 10.61186/ifej.2024.533

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

برآورد میزان رواناب و فرسایش خاک با توجه به شرایط بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، میزان ماده آلی و شیب مسیر چوب‌کشی (مطالعه موردی: جنگل لوه گالیکش)

مصطفی مقدمی راد[۱] و وحید ریزوندی[۲]

۱- کارشناس، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: moghadami.mostafa@yahoo.com)
۲- کارشناس، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲
صفحه ۹۷ تا ۱۰۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در دهه‌های اخیر، اثرات فزاینده تغییرات اقلیمی و فشارهای فزاینده ناشی از بهره‌برداری‌های انسانی، به‌ویژه در جنگل‌ها، موجب تشدید نگرانی‌ها پیرامون تخریب منابع پایه‌ای مانند خاک و آب شده است. در این میان، عملیات چوب‌کشی به‌عنوان یکی از مراحل اصلی بهره‌برداری جنگلی، باعث بروز تغییرات فیزیکی قابل ملاحظه‌ای در ساختار خاک و رفتار هیدرولوژیکی سطح زمین می‌گردد. این فعالیت‌ها با فشرده‌سازی خاک، کاهش پوشش گیاهی و افزایش شیب مؤثر، مستعدسازی بستر برای تشدید فرسایش سطحی و تولید رواناب را به دنبال دارند. فرآیندهای هیدروژئومورفولوژیکی از جمله تبدیل بارندگی به رواناب و انتقال ذرات رسوبی به‌شدت تحت تأثیر ویژگی‌های خاک، شیب زمین، شدت بارش و نحوه استفاده از زمین هستند. بنابر این، تحلیل اثرات این عوامل به‌صورت منفرد و متقابل، به ویژه در مناطق حساس جنگلی، برای تدوین راهکارهای مدیریتی پایدار امری ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی کمی و کیفی نقش ویژگی‌های خاک و شیب زمین در فرآیند تولید رواناب، رسوب و فرسایش شیاری در مسیرهای چوب‌کشی دو پارسل ۱۰۶ و ۱۰۷ طرح جنگلداری لوه در جنگل‌های شمال ایران انجام شده است. این مطالعه تلاش دارد با ارزیابی اثرات اصلی و برهم‌کنش‌های بین این عوامل، بینش دقیقی در خصوص پیامدهای زیست‌محیطی عملیات چوب‌کشی فراهم آورد و پایه‌ای علمی را برای بهبود مدیریت منابع آب و خاک ارائه دهد.

مواد و روش‌ها: جهت دستیابی به اهداف مطالعه، مسیرهای چوب‌کشی در محدوده مورد بررسی به پنج کلاس شیب، شامل کمتر از ۵، ۵ تا ۱۰، ۱۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۲۵ درصد، طبقه‌بندی شدند. در هر کلاس شیب، سه تیمار مطالعاتی شامل (۱) رد چرخ ماشین‌آلات، (۲) مرکز مسیر چوب‌کشی و (۳) منطقه شاهد (جنگل طبیعی فاقد دخالت انسانی) انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. در هر تیمار، نمونه‌برداری از خاک در سه عمق ۰–۱۰، ۱۰–۲۰ و ۲۰–۳۰ سانتی‌متر با استفاده از سیلندرهای فولادی انجام شد. پارامترهای فیزیکی شامل بافت خاک، چگالی ظاهری، تخلخل، رطوبت وزنی و پارامترهای شیمیایی، نظیر ماده آلی و هدایت الکتریکی، اندازه‌گیری گردیدند. به‌منظور ارزیابی فرآیندهای هیدرولوژیکی، از دستگاه شبیه‌ساز باران با شدت بارندگی ۶۵ میلی‌متر در ساعت به‌مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد؛ این شدت معادل بارش‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله در منطقه است و قابلیت بازنمایی شرایط بحرانی را دارد. پس از اعمال بارندگی مصنوعی، متغیرهای هیدرولوژیکی و فرسایشی شامل حجم رواناب، زمان شروع رواناب، ضریب رواناب، میزان و غلظت رسوب، و ابعاد شیارهای فرسایشی (عمق و عرض) اندازه‌گیری و ثبت شدند. تحلیل آماری داده‌ها از طریق تجزیه واریانس (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام‌گرفت تا تفاوت‌ها و اثرات متقابل مشخص شوند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین تیمارهای مختلف (رد چرخ، مرکز مسیر و منطقه شاهد) و کلاس‌های متفاوت شیب زمین، از نظر بیشتر متغیرهای اندازه‌گیری‌شده از جمله حجم رواناب، مقدار و غلظت رسوب، ضریب رواناب، زمان آغاز رواناب و شدت فرسایش شیاری، تفاوت‌های معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارند. بیشترین مقادیر رواناب و رسوب در تیمار رد چرخ، که به‌عنوان متراکم‌ترین و فشرده‌ترین ناحیه بر اثر تردد ماشین‌آلات شناخته می‌شود، و در کلاس شیب بالاتر از ۲۰ درصد مشاهده شد. در مقابل، منطقه شاهد که فاقد دخالت انسانی و دارای پوشش گیاهی طبیعی بود، کمترین مقادیر رواناب، رسوب و شدت فرسایش را نشان داد. افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش تخلخل در تیمارهای تحت بهره‌برداری، به ویژه در محل رد چرخ، منجر به کاهش ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک شده و در نتیجه، رواناب سطحی افزایش یافته است. تحلیل اثرات متقابل بین ویژگی‌های خاک و شیب زمین نشان داد که این برهم‌کنش‌ها در تعیین شدت پاسخ هیدرولوژیکی و فرسایشی نقش مهمی دارند، به‌گونه‌ای که با افزایش شیب، تأثیر نامطلوب تغییرات فیزیکی خاک بر تولید رواناب و رسوب تشدید می‌گردد. هم‌چنین مشاهده شد که متغیر رواناب نسبت به رسوب از حساسیت بالاتری برخوردار بود و در مواجهه با تغییرات فیزیکی محیط، به‌صورت سریع‌تر و مستقیم‌تر واکنش نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که ارزیابی دقیق رواناب می‌تواند به‌عنوان شاخص اولیه و هشداردهنده‌ای برای بروز فرایندهای فرسایشی در اراضی بهره‌برداری‌شده به‌کار رود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، عملیات چوب‌کشی در اراضی جنگلی با اعمال فشار مکانیکی بر بستر خاک، تغییرات قابل توجهی در خصوصیات فیزیکی آن ایجاد می‌کند و در کنار شیب‌های بالا، سبب تشدید فرآیندهای رواناب، رسوب‌زایی و فرسایش شیاری می‌شود. تیمار رد چرخ، به‌عنوان ناحیه‌ای با بیشترین میزان فشردگی خاک، بالاترین حساسیت هیدرولوژیکی و فرسایشی را از خود نشان داد. این یافته‌ها بر ضرورت بازنگری در طراحی و اجرای مسیرهای چوب‌کشی تأکید دارند و لزوم به‌کارگیری اقدامات حفاظتی، نظیر بازرویش پوشش گیاهی، تثبیت مکانیکی خاک، محدودسازی شیب‌های بحرانی و تعیین پهنه‌های مناسب برای عبور ماشین‌آلات، را مورد تأکید قرار می‌دهند. در نهایت، نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنای علمی برای تدوین دستورالعمل‌های فنی در راستای مدیریت پایدار جنگل‌ها و حفاظت از منابع طبیعی در مناطق کوهستانی مورد استفاده مدیران، مهندسین منابع طبیعی و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بارش، رد چرخ، سیلندر فولادی، شبیه‌ساز باران، فرسایش شیاری

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در بخش مهندسی جنگل، زیرساخت‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط جنگل است. بخش عمده‌ای از زیرساخت‌ها مربوط به مسیرهای چوب‌کشی است. مسیرهای چوب‌کشی به راه‌های خروج چوب از عرصه جنگل تا دپوی کنار جاده‌های جنگلی توسط ماشین‌آلات چوب‌کشی زمینی گفته می‌شود که با کمترین عملیات خاکی احداث می‌شوند و تلاش می‌گردد تا با حرکت مستقیم در شیب دامنه، کمترین آسیب را به خاک و توده باقیمانده وارد ساخت (Lotfalian, 2011). از طرفی، ماشین‌آلات چوب‌کشی طوری طراحی شده‌اند که بتوانند

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

بارهای سنگین را در شرایط سخت جابه‌جا کنند؛ لذا خاک جنگل محل دریافت نیروهای استاتیک و دینامیک حاصل از حمل‌ونقل اولیه می‌شود؛ ازاین‌رو، شدیدترین تخریب عرصه در اثر عملیات بهره‌برداری در مسیرهای چوب‌کشی و دپوها رخ می‌دهد (Heninger *et al*., 2002). عملیات بهره‌برداری در قالب سیستم چوب‌کشی زمینی سبب ایجاد کوبیدگی و تخریب خاک و باعث شیوع فرسایش خاک می‌شود که یکی از عواملی است که از حاصلخیزی خاک و کیفیت آب کاسته، رسوب‌زایی و احتمال ایجاد سیل را افزایش می‌دهد که امروزه در مدیریت معاصر به موضوع زیست‌محیطی عمده‌ای در سراسر دنیا مبدل شده است (Wildhaber *et al*., 2011; Yue *et al.,* 2020). تسریع فرسایش خاک و تخریب خاک یکی از چالش‌های محیطی است که منجربه تخریب اکوسیستم و کاهش بهره‌وری خاک می‌شود. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۷۰ فرسایش خاک بین ۳۰ تا ۶۶ درصد افزایش می‌یابد (Gholamahmadi *et al*., 2023). فرسایش آبی و رواناب فرایند مهمی است که از طریق هدررفت خاک و اثرات محیطی عملیات کشاورزی، در هدررفت عناصر غذایی مؤثر است (Perez *et al*, 2010). شدت بارندگی نقش مهمی در تولید رواناب دارد چرا که به‌طور دائم جنگل‌ها و پوشش‌های گیاهی قادر به نگهداری مقدار زیادی از آب حاصل از بارش نیستند (Ahmadi-Sani *et al.,* 2022). به‌طور کلی، نوع و شدت فرسایش خاک در هر ناحیه‌ای به شرایط آب و هوایی، شدت و مدت بارندگی (Parsakhoo *et al*., 2023)، پستی و بلندی، خاک و کاربری اراضی بستگی دارد (Saidian&Moradi, 2013). تاکنون پژوهش‌های زیادی در ارتباط با مسیرهای چوب‌کشی صورت‌گرفته است که به‌عنوان نمونه می‌توان به کوبیدگی مسیرهای چوب‌کشی بر اثر تردد ماشین‌آلات چوب‌کشی (Jourgholami *et al*, 2018; Solgi & Najafi, 2014)، فرسایش آبی (Safari *et al*, 2016; Zemeke, 2016; Akbarimehr & Naghdi, 2012; Lotfalian *et al*., 2009)، و شیاری شدن مسیرهای چوب‌کشی (Jourgholami & Majnounian, 2013) اشاره کرد که البته در بین این مطالعات، رواناب و فرسایش خاک نسبتاً کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. فرسایش خاک فرایندی پیچیده است که اندازه‌گیری میزان حقیقی آن در قدیم دشوار بود و بیشتر با استفاده از تجهیزات و ابزارهای ساده انجام می‌شد. یکی از روش‌های ارزیابی اثرات باران بر متغیرهایی مانند مشخصات رسوب و میزان هدررفت خاک، استفاده از شبیه‌ساز باران است (Jabbary Zahra *et al*, 2022) که به‌دلیل دارابودن مزیت‌های شرایط خاک، عرصه طبیعی و تحت کنترل بودن ویژگی‌های باران در مقایسه با سایر روش‌ها، به واقعیت نزدیک‌تر است و علاوه بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه، به‌منظور اهداف مقایسه‌ای و کمی نمودن مقدار رواناب، رسوب و فرایندهای مؤثر بر آن با قابلیت تکرار زیاد (Abdollahi *et al*., 2016; Khaledi *et al*, 2016) علی‌رغم محدودیت ویژگی‌های باران طبیعی و همانندسازی شده و ایجاد شرایط بارندگی طبیعی در سطح کوچک پلات (Arnaez *et al*., 2007; Sheridan *et al*., 2008) مورد توجه بیشتری نسبت به‌روش‌های قدیمی قرار گرفته‌اند. اکثر پژوهش‌های انجام شده مرتبط با کاربرد شبیه‌ساز باران در ارزیابی مقدار رواناب و تولید رسوب، به متغیرهای مختلفی از جمله متغیر شدت باران (Kiani Harchegani *et al*, 2018 & Kord *et al*, 2020)، شیب سطح خاک (Zare *et al*, 2012 & Farzi *et al*, 2016)، ویژگی‌های خاک مانند بافت خاک (Zare *et al*, 2020; Foroumadi & Vaezi, 2020) و میزان پوشش گیاهی سطح خاک (Mendes *et al*, 2021; Parvizi *et al*, 2020; Mohammadamini & Alavi, 2020) معطوف شده است. تغییرات آب و هوایی باعث شده است که ارزیابی میزان فرسایش زیرساخت‌های جنگلی از اهمیت زیادی برخوردار باشد (Haas *et a*l, 2020).

جنگل‌ها علاوه‌بر تولیدات چوبی، خدمات اکوسیستمی زیادی ارائه می‌دهند (Nocentini *et al*., 2022). یکی از مهمترین خدمات آن‌ها بحث حفاظت هیدرولوژیکی است (Titti *et al*., 2022). جنگل‌ها نقش کلیدی در تنظیم منابع آبی دارند. با توجه به اینکه اکثر مسیرهای چوب‌کشی در واحدهای جنگلداری شمال کشور رها شده‌اند، ارزیابی دقیق این مسیرها در دوران تنفس جنگل و بررسی و تعیین میزان فرسایش و رسوب در این مسیرها برای مدیریت بهتر این منابع در زمانی که نیاز به بهره‌برداری مجدد باشد، بر کسی پوشیده نیست. با توجه به این که مسیرهای چوب‌کشی جنگل‌های شمال، معمولاً پر شیب، با خاک دست‌خورده و عاری از پوشش گیاهی و هوموس است که همین امر موجب افزایش خسارت به خاک و عرصه جنگل و تولید رواناب و رسوب در جنگل می‌شود (Ahmadi *et a.l,* 2019)، بنابر این، تحقیق حاضر بر روی مسیرهای چوب‌کشی به‌عنوان قسمت بحرانی تولیدکننده رسوب در جنگل به‌دلیل عدم آگاهی از مقدار تفاوت معنی‌دار یا غیر معنی‌دار در بین شیب‌های مختلف این مسیرها (در محل رد چرخ و وسط مسیر) از لحاظ مولفه‌های رواناب و رسوب در مقایسه با جنگل طبیعی به‌منظور درک بهتر تأثیرات این عوامل بر میزان فرسایش و رسوب مورد نیاز بود. این پژوهش نیز به‌منظور برآورد میزان رواناب و فرسایش خاک با توجه به شرایط بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، میزان ماده آلی و شیب مسیر چوب‌کشی در طرح جنگلداری لوه گالیکش در استان گلستان انجام شد.

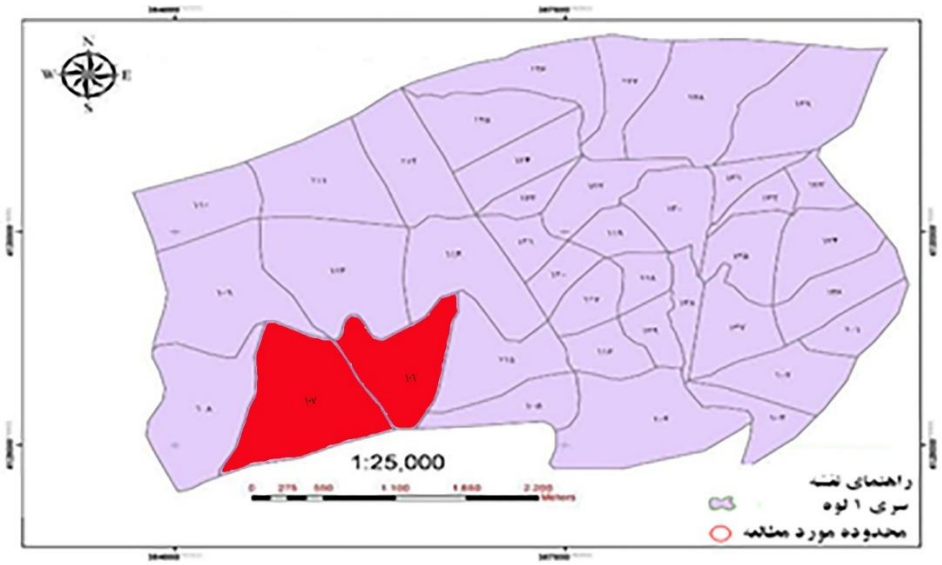
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد بررسی

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ بعد از اتمام فعالیت چوب‌کشی در پارسل‌های ۱۰۶ و ۱۰۷ سری کندسکو طرح جنگلداری لوه واقع در شهرستان گالیکش انجام شد (شکل ۱.) طرح جنگلداری لوه اولین طرح در شمال کشور است و نخستین اجرای این طرح در سال ۱۳۴۲ بود. این منطقه در حوزه آبخیز ۹۴ در ۲۴ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان گالیکش در استان گلستان (شکل ۱)، در غرب جنگل‌های گلستان بین ارتفاعات ۴۰۰ تا ۱۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و در حوزه اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان قرار دارد (anonymous, 2001). طول جغرافیائی منطقه مورد مطالعه بین ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی آن بین ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی واقع است. مساحت کل جنگل حدود ۱۲۰۰۰

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

هکتار است که شامل ۴ سری (کندسکو، نالین، چشمه شاپور و پاسنگ) است و مسیر چوب‌کشی سری کندسکو در این منطقه مورد مطالعه قرارگرفت. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد با میزان بارندگی سالیانه ۵۲۴ میلی‌متر که بیشترین مقدار بارندگی در فصل زمستان با ۱۷۸/۵ و کمترین آن متعلق به فصل تابستان با ۸۰/۸ میلی‌متر است. تیپ عمده خاک از نوع قهوه‌ای جنگلی، قهوه‌ای آهکی، قهوه‌ای هیدرومورف و راندزین (در رویشگاه‌های فوقانی) با pH بین ۸/۶–۷/۸ است (anonymous, 2001). گونه‌های درختی غالب منطقه شامل بلوط، ممرز و توسکا هستند که قابلیت بهره‌برداری دارند. شیوه بهره‌برداری و جنگل‌شناسی (در زمان بهره‌برداری) در منطقه به‌صورت تک گزینی بود و چوب‌کشی در منطقه توسط یک اسکیدر چرخ لاستیکی تیمبرجک ۴۵۰C با وزن حدود ۱۰ تن انجام شد.



شکل ۱– موقعیت کلی طرح جنگلداری لوه (استان گلستان)
Figure 1 .The location of the studied plan in the Loveh forest (Golestan Province)

روش پژوهش

نمونه‌گیری خاک بعد از اتمام فعالیت چوب‌کشی انجام شد. در این مطالعه، وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک به‌روش بلک و هارتگه (Blake &Hartge, 1986) از محل رد چرخ، مرکز مسیر و جنگل طبیعی با استفاده از سیلندرهای فولادی نمونه‌گیری با طول ۱۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۵ سانتی‌متر در سه عمق ۱۰–۰، ۲۰–۱۰ و ۳۰–۲۰ سانتی‌متری از خاک جمع‌آوری شدند. به‌منظور تعیین دیگر ویژگی‌های خاک، با استفاده از اوگر اقدام به نمونه‌برداری خاک و انتقال آن به آزمایشگاه شد. نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و پس از کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، آزمایش‌های مورد نظر روی آن‌ها صورت گرفت. بافت خاک به‌روش هیدرومتری بایکوس (Bouyoucos, 1962)، ماده آلی به‌روش والکلی و بلک (Wackley& Black, 1934)، درصد آهک به‌روش تیتراسیون، رطوبت خاک در منطقه با استفاده از رطوبت‌سنج صحرایی ساخت کشور ژاپن مدل HB-2، pH با استفاده از گل اشباع، و مقاومت به نفوذ توسط پنترومتر مدل Agratronix اندازه‌گیری شد (Moghadamirad *et al.*, 2014). طول، عرض و عمق شیارهای طولی مسیر چوب‌کشی در هر شیب با استفاده از یک شمشه پلاستیکی، تراز و متر فلزی اندازه‌گیری شدند.

جهت اندازه‌گیری رواناب از باران‌ساز قابل‌حمل با پلات ۱ مترمربعی که برگرفته از نمونه فرانسوی آن (Deltalab Eid330) است، اقدام به اندازه‌گیری و مقایسه میزان رواناب و هدررفت خاک در شیب‌های مختلف مسیر چوب‌کشی (تیمار) و جنگل (شاهد) با ارتفاع بارش دو متر با ۷ تکرار (به‌منظور دقت بیشتر) گردید (Zemke, 2016). به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های بارندگی منطقه جنگلی مورد نظر با استفاده از باران‌ساز، از داده‌های مربوط به ایستگاه هواشناسی گالیکش واقع در ۱۰ کیلومتری منطقه استفاده شد. با توجه به داده‌های هواشناسی، شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای با دوره بازگشت ۱۰ سال، ۶۵ میلی‌متر بر ساعت استخراج شد (Moghadamirad *et al.*, 2014). جدول ۱ برخی از خصوصیات باران شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

جدول ۱- خصوصیات بارش شبیه‌سازی شده توسط دستگاه باران‌ساز مورد استفاده

Table 1. Precipitation properties simulated by the rain simulator

شدت بارش Precipitation intensity (mm h-1)	ضریب یکنواختی Uniformity coefficient (%)	میانه قطر قطرات Average droplet diameter (mm)	انرژی جنبشی بارش Kinetic energy of precipitation (J.m-2.mm-1)	تداوم بارش Duration of precipitation (minutes)	خروجی بارش Precipitation output (L.min-1)
65	87	1.11	27.7	30	1

طبق بررسی‌های میدانی و این که کمینه و بیشینه شیب طولی در جهت چوب‌کشی رو به بالا به‌ترتیب کمتر از ۵ و ۲۵ درصد بود، بنابراین مسیر چوب‌کشی به پنج طبقه شیب کمتر از ۵، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰، ۲۰- ۱۵ و ۲۵-۲۰ درصد با استفاده از شیب‌سنج سونتو در روی مسیر چوب‌کشی تقسیم‌بندی شد (شیب عرضی ۵ درصد و ثابت در نظر گرفته شد). قبل از شروع شبیه‌سازی باران جهت تعیین ویژگی‌های خاک، رطوبت و مقاومت به نفوذ خاک در شیب‌های مختلف در سه منطقه رد چرخ، مرکز مسیر و جنگل طبیعی برآورد گردید که این خصوصیات در هر منطقه معنی‌دار نبودند و فقط در بین مناطق مختلف معنی‌دار بودند. با توجه به این موضوع، فقط متغیر شیب در سه منطقه بر مقدار رواناب و هدررفت خاک دخالت داده شد. در هر شبیه‌سازی بارش، زمان شروع رواناب (فاصله زمانی آغاز بارش تا آغاز رواناب) با استفاده از کرونومتر و حجم رواناب تولیدی از طریق خروجی پلات و با استفاده از بشر طی زمان ۳۰ دقیقه (۷ بار نمونه‌گیری در هر بار شبیه‌سازی) اندازه‌گیری شد (شکل ۲). غلظت رسوب در آزمایشگاه به‌روش فیلتراسیون نمونه بار معلق و عبور نمونه‌های رواناب از کاغذ صافی واتمن[1] ۴۲ پس از خشک نمودن در دستگاه آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک شبانه‌روز و توزین توسط ترازوی دیجیتالی و سپس تقسیم مقدار رسوب به رواناب برآورد شد. هدررفت خاک از مجموع غلظت‌ها در هر دوره زمانی (Moghadamirad *et al*., 2014) و ضریب رواناب از تقسیم مقدار رواناب جمع‌آوری شده به مقدار آب ورودی به پلات محاسبه گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در هر منطقه، در آغاز با آزمون کلموگروف اسمیرنوف، میزان تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال بررسی شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها، از تجزیه واریانس و در صورت معنی‌دار بودن هر یک از عوامل (p <۰/۰۵) از آزمون مقایسه‌ای دانکن با استفاده از برنامه SPSS 21 در سطح احتمال ۵ درصد بهره‌گیری شد.



شکل ۲- استقرار شبیه‌ساز باران در جنگل (شکل راست)، رد چرخ (شکل وسط) و مرکز مسیر چوب‌کشی (شکل چپ)

Figure 2. Installation of the rain simulator in the forest (right picture), wheel track (middle picture), and the center of the skid trail (left picture)

نتایج و بحث

جدول ۲ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سه منطقه مورد مطالعه شامل رد چرخ، وسط مسیر و جنگل را تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل انتظار است، میزان مقاومت به نفوذ، وزن مخصوص و رطوبت در دو منطقه رد چرخ و وسط مسیر بیشتر از منطقه شاهد (جنگل) هستند که در راستای دیگر مطالعات است (Jourgholami&Majnounian, 2011; Solgi &Najafi, 2014; Safari *et al*., 2016).

[1] Whatman

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین کل و تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک در سه منطقه مورد مطالعه
Table 2. The results of comparing the total average and analysis of variance of soil properties in the three study areas.

معنی‌داری Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Center track	رد چرخ Wheel track		متغیر Variable
0.001	16.6± 1.25 b	35.7± 6.41 a	34.6±3.17 a		رس (٪) Clay
0.003	26± 2.21 b	46.1±7.57 a	47± 6.36 a		سیلت (٪) Silt
0.007	57.4± 5.41 a	18.1± 2.36 b	18.4± 3.51 b		شن (٪) Sand
0.00	0.7±0.14 c	1.07± 0.24 b	1.53± 0.16 a		مقاومت به نفوذ Penetration resistance (kg/cm2)
0.002	1.21± 0.02 c	1.47± 0.09 b	1.64± 0.15 a	0 -10	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density(g/cm-3)
0.005	1.45± 0.04 c	1.61± 0.03 b	1.77± 0.05 a	10-20	
0.012	1.48± 0.02 c	1.61± 0.07 b	1.79± 0.06 a	20-30	
0.00	8.46± 0.03 a	1.3± 0.17 b	1.27± 0.23 b		ماده آلی (٪) Organic matter
0.001	49.7± 1.59 a	32.1± 4.76 b	31.4± 2.04 b		رطوبت (%) Humidity
0.017	6.91± 0.35 a	6.43± 0.06 b	6.32± 0.02 b		pH
0.002	5.4± 0.15 a	1.34± 0.04 b	1.32± 0.05 b		آهک (%) Lime

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.
Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.

جدول ۳ اثر شیب مسیر چوب‌کشی کمتر از پنج درصد روی رواناب، آستانه شروع رواناب، غلظت رسوب، هدررفت خاک و ضریب رواناب را نشان می دهد. در مورد رواناب و غلظت رسوب بین دو منطقه رد چرخ و وسط مسیر، تفاوت معنی‌دار نبود ولی با منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. در مورد آستانه شروع رواناب، هدررفت خاک و ضریب رواناب در بین سه منطقه تفاوت‌های معنی‌دار مشاهده گردید که با نتایج تحقیقات محققین دیگر مطابقت دارد (Safari *et al*, 2016; Zemeke, 2016).

جدول ۳- اثر شیب کمتر از ۵ درصد روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در سه منطقه مورد مطالعه
Table 3. The effect of less than 5% slope on runoff components and soil loss in the three study areas

معنی‌داری Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Center track	رد چرخ Wheel track	متغیر Variable
0.009	0.38± 0.08 b	6.18± 1.1 a	7.46± 2.7 a	رواناب (لیتر در مترمربع) Runoff (L/m2)
0.002	1223± 94.31 a	86.53± 11.27 b	72± 16.5 c	آستانه شروع رواناب (ثانیه) Runoff threshold (seconds)
0.006	1.21± 0.12 b	14.50± 3.27 a	15.08± 4.05 a	غلظت رسوب (گرم در لیتر) Sediment concentration (g/liter)
0.000	3.15± 0.46 c	89.6± 14.47 b	112.52± 22.73 a	هدررفت خاک (گرم در مترمربع) Soil loss (g/m2)
0.001	1.26± 0.07 c	20.6± 3.56 b	24.86± 5.46 a	ضریب رواناب (درصد) Runoff coefficient (percentage)

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر، بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.
Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.

اثر شیب‌های بیش از پنج درصد روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در جدول ۴ تا ۷ آمده است. نتایج نشان می‌دهند که در هر سه منطقه تفاوت معنی‌داری بین اجزای رواناب و هدررفت خاک وجود دارد. دلیل این امر را می‌توان افزایش شیب مسیر چوب‌کشی و در پی آن سرعت گرفتن رواناب و فرسایش بیشتر خاک عنوان کرد که با افزایش شیب در هر سه منطقه، مقدار رواناب و هدررفت خاک افزایش یافتند.

جدول ۴- اثر شیب ۱۰-۵ درصد روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در سه منطقه مورد مطالعه
Table 4. The effect of 5-10% slope on runoff components and soil loss in the three study areas

معنی‌داری Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Center track	رد چرخ Wheel track	متغیر Variable
0.006	0.62± 0.19 c	7.11± 4.33 b	8.71± 3.55 a	رواناب (لیتر در مترمربع) Runoff (L/m2)
0.001	1215± 76.58 a	73.14± 8.2 b	61± 10.96 c	آستانه شروع رواناب (ثانیه) Runoff threshold (seconds)
0.002	2.98± 0.14 c	15.28± 2.19 b	17.73± 3.12 a	غلظت رسوب (گرم در لیتر) Sediment concentration (g/liter)
0.000	1.85± 1.14 c	108.64± 9.45 b	154.43± 19.25 a	هدررفت خاک (گرم در مترمربع) Soil loss (g/m2)
0.000	2.07± 0.12 c	23.7± 4.14 b	29.03± 3.76 a	ضریب رواناب (درصد) Runoff coefficient (percentage)

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.
Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.

جدول ۵- اثر شیب ۱۵-۱۰ درصد روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در سه منطقه مورد مطالعه
Table 5. The effect of 10-15 % slope on runoff components and soil loss in the three study areas

معنی‌داری Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Center tracks	رد چرخ Wheel track	متغیر Variable
0.001	0.94± 0.17 c	9.68±2.93 b	42.11± 1.42 a	رواناب (لیتر در مترمربع) Runoff (L/m2)
0.002	1088± 55.47 a	58.27± 9.51 b	43±15.08 c	آستانه شروع رواناب (ثانیه) Runoff threshold (seconds)
0.00	3.47± 0.95 c	17.82± 5.83 b	20.12± 6.02 a	غلظت رسوب (گرم در لیتر) Sediment concentration (g/liter)
0.00	3.26± 1.9 c	32.27± 20.71 b	229.77± 41.08 a	هدررفت خاک (گرم در مترمربع) Soil loss (g/m2)
0.00	3.13± 0.27 c	25.36± 7.16 b	38.07± 5.43 a	ضریب رواناب (درصد) Runoff coefficient (percentage)

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.
Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

جدول ۶- اثر شیب ۲۰-۱۵ درصد روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در سه منطقه مورد مطالعه

Table 6. The effect of 15-20% slope on runoff components and soil loss in the three study areas

معنی‌داری Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Center tracks	رد چرخ Wheel track	متغیر Variable
0.001	1.24±0.36^{c}	11.47^{b}±8.41	15.12± 6.13^{a}	رواناب (لیتر در مترمربع)Runoff (L/m2)
0.000	862±53.43^{a}	40.28±11.61^{b}	29.21±5.28^{c}	آستانه شروع رواناب (ثانیه)Runoff threshold (seconds)
0.000	4.28±1.22^{c}	20.52±5.23^{b}	25.77±4.42^{a}	غلظت رسوب (گرم در لیتر)Sediment concentration (g/liter)
0.001	5.31±2.15^{c}	152.81±26.54^{b}	389.64±48.54^{a}	هدررفت خاک (گرم در مترمربع)Soil loss (g/m2)
0.000	4.13±0.57^{c}	38.23±6.19^{b}	50.4±11.76^{a}	ضریب رواناب (درصد)Runoff coefficient (percentage)

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.

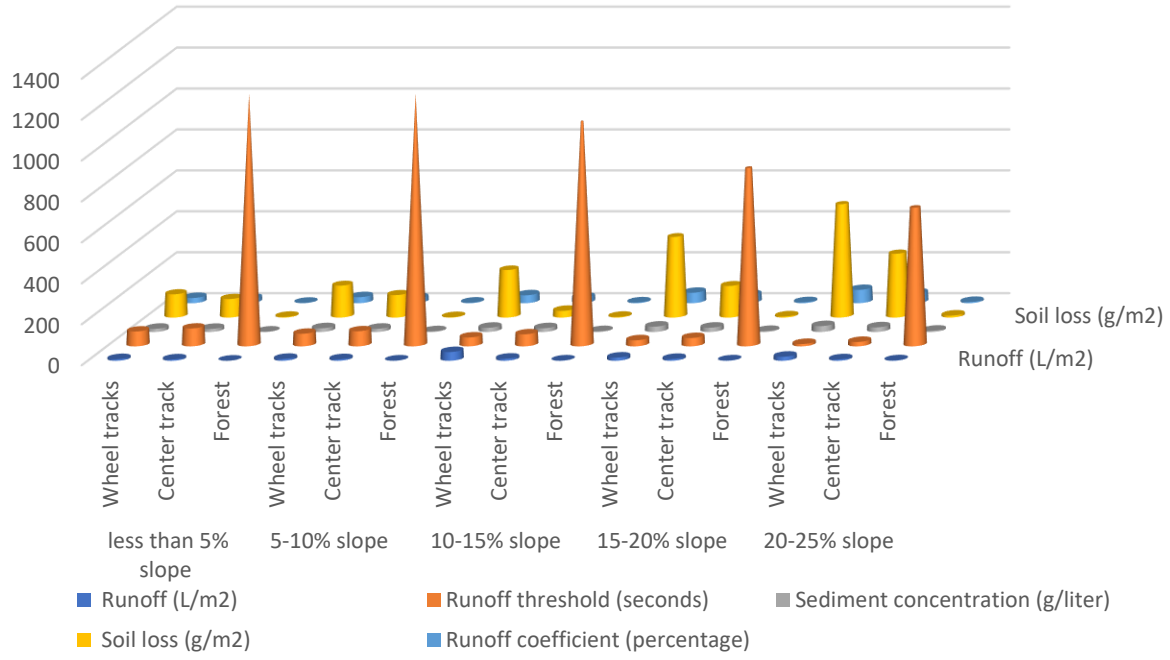
جدول ۷- اثر شیب ۲۵-۲۰ درصد روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در سه منطقه مورد مطالعه

Table 7. The effect of 20-25% slope on runoff components and soil loss in the three study areas

معنی‌داری Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Center track	رد چرخ Wheel tracks	متغیر Variable
0.001	1.64± 0.76 ^{c}	6.57 ^{b}± 13.91	19.32± 8.25 ^{a}	رواناب (لیتر در مترمربع)Runoff (L/m2)
0.000	670± 31.67 ^{a}	21.28± 4.47 ^{b}	11.21± 2.67 ^{a}	آستانه شروع رواناب (ثانیه)Runoff threshold (seconds)
0.000	5.72± 2.42 ^{c}	22.17± 6.54 ^{b}	28.35± 10.72 ^{a}	غلظت رسوب (گرم در لیتر)Sediment concentration (g/liter)
0.000	9.38± 5.15 ^{c}	308.38± 18.34 ^{b}	547.72± 35.61 ^{a}	هدررفت خاک (گرم در مترمربع)Soil loss (g/m2)
0.000	5.47± 1.46 ^{c}	46.36± 9.26 ^{b}	64.4± 10.25 ^{a}	ضریب رواناب (درصد)Runoff coefficient (percentage)

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند

Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.



شکل ۳- اثر شیب‌های مختلف روی اجزای رواناب و هدررفت خاک در سه منطقه مورد مطالعه

Figure 3. The effect of the percent slope on runoff components and soil loss in the three study areas

نتایج مربوط به شیار ایجاد شده در سه منطقه موجود در مسیر چوب‌کشی در جدول ۸ آمده‌است. نتایج نشان داد که در بین سه منطقه تفاوت معنی‌داری از لحاظ شیار ایجاد شده وجود داشت که تا حدودی منطبق با نتایج مطالعات دیگر محققین است (Sheridan *et al.*, 2008; Jourgholami & Majnounian, 2013; Elliot, 2013). با این تفاوت که در دو مطالعه اخیر، جاده خاکی و شنی جنگلی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. در این تحقیق، در منطقه جنگلی به‌دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و هوموس و هم‌چنین عدم تردد وسایل نقلیه، ایجاد شیار تا شیب ۱۵ درصد غیرممکن بود و در شیب بیش از ۱۵ درصد شیار ایجاد شد. هم‌چنین افزایش شیب مسیرهای چوب‌کشی تأثیر فراوانی بر طول، عرض و عمق شیار ایجاد شده از طریق ایجاد جریان‌های سطحی دارد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

جدول ۸- مقایسه اجزای شیار در شیب‌های مختلف در سه منطقه مورد مطالعه
Table 8. Comparison of rill components in different slopes in the three study areas

Sig.	جنگل Forest	وسط مسیر Middle of the path	رد چرخ Wheel tracks	مشخصه‌های شیار Rill characteristics	کلاسه شیب (درصد) Slope class (percentage)
0.001	0.00± 0.00 c	0.96± 0.05 b	3.74± 0.25 a	طول (متر) Length(m)	<5
0.00	0.00± 0.00 c	0.02± 0.004 b	0.05± 0.007 a	عرض (متر) Width(m)	
0.00	0.00± 0.00 c	0.01± 0.005 b	0.05± 0.002 a	عمق (متر) Depth (m)	
0.00	0.00± 0.00 c	6.92± 0.55 b	11.19± 2.17 a	طول (متر) Length(m)	5-10
0.00	0.00± 0.00 c	0.07± 0.01 b	0.15± 0.03 a	عرض (متر) Width(m)	
0.00	0.00± 0.00 c	0.04± 0.002 b	0.11± 0.03 a	عمق (متر) Depth (m)	
0.00	0.00± 0.00 c	13.4± 2.61 b	19.82± 9.17 a	طول (متر) Length(m)	10-15
0.00	0.00± 0.00 c	0.19± 0.07 b	0.51± 0.11 a	عرض (متر) Width(m)	
0.00	0.00± 0.00 c	0.08± 0.001 b	0.21± 0.05 a	عمق (متر) Depth (m)	
0.00	2.92± 0.72 c	21.91± 3.14 b	29.65± 7.68 a	طول (متر) Length(m)	15-20
0.00	0.09± 0.002 c	0.31± 0.07 b	0.81± 0.21 a	عرض (متر) Width(m)	
0.00	0.04± 0.001 c	0.12± 0.005 b	0.45± 0.12 a	عمق (متر) Depth (m)	
0.00	3.72± 1.07 c	26.91± 6.57 b	37.82± 8.25 a	طول (متر) Length(m)	20-25
0.00	0.12± 0.02 c	0.38± 0.09 b	1.19± 0.27 a	عرض (متر) Width(m)	
0.00	0.07± 0.01 c	0.17± 0.05 b	0.52± 0.12 a	عمق (متر) Depth (m)	

اعداد با حروف مشترک در هر متغیر بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.
Numbers with common letters in each variable have no significant differences at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

عملیات بهره‌برداری جنگل می‌تواند تغییرات اساسی در فرایندها و عملکردهای اکوسیستم‌های جنگلی همانند جریان‌های انرژی و آب، فرایندهای هیدرولوژیکی و بیوشیمیایی ایجاد کند (Shah & Nisbet, 2019). باتوجه به طرح تنفس جنگل و عدم استفاده از مسیرهای چوب‌کشی با هدف خروج چوب همانند گذشته، قابل ذکر است که این مسیرها در منطقه مذکور هم‌چنان از جهت تردد وسایل نقلیه خودرویی و موتوری جهت اطفا حریق، پیشگیری از قاچاق چوب توسط اکیپ‌های گشت شبانه‌روزی و اهداف پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌همین دلیل، تردد در این مسیرها باعث اختلال در روند بازیابی خصوصیات خاک می‌شود که باعث فرسایش خاک و تولید رسوب و رواناب و کاهش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود. لذا هدف از این پژوهش نیز تعیین مقدار رسوب و رواناب این مسیرها بود که با توجه به عدم آگاهی از مقدار تفاوت معنی‌دار یا غیرمعنی‌دار در بین شیب‌های مختلف مسیر چوب‌کشی از لحاظ مؤلفه‌های رواناب و رسوب و مقایسه با منطقه رد چرخ و شاهد (جنگل) انجام شد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که مقدار رواناب، آستانه شروع رواناب، غلظت رسوب، هدررفت خاک و ضریب رواناب در مسیرهای چوب‌کشی (به‌ترتیب برای رد چرخ و وسط مسیر) به‌طور قابل توجهی بیشتر از مناطق شاهد (جنگلی) هستند، لذا احیا و تقویت نفوذپذیری خاک محل رد چرخ‌ها اهمیت بیشتری دارد. نتایج بیانگر این موضوع است که کوبیدگی خاک از طریق کاهش نفوذپذیری با یکسان بودن شیب و شرایط خاکی، نقش فراوانی در افزایش رواناب و هدررفت خاک دارد. جای تعجب نیست که به‌نظر می‌رسد بیشترین تفاوت در نرخ فرسایش برای همه ویژگی‌ها مربوط به توپوگرافی محل برداشت باشد (Cristan *et al.*, 2018). در برخی منابع گزارش شده‌است که ایجاد شیارهای عرضی برای هدایت رواناب به داخل جنگل به منظور کاهش فرسایش (Zemke, 2016) و اقداماتی مانند کاربرد لایه‌های هوموسی و مازاد مقطوعات (Fernandez & Vega, 2016) و هم‌چنین بافته‌های درشت پلاستیکی جهت تثبیت مسیرهای چوب‌کشی کمک فراوانی خواهد کرد. اگرچه تعمیم نتایج تحقیق حاضر به سایر مسیرهای چوب‌کشی موجود در مناطق جنگلی شمال، مستلزم انجام تحقیقات گسترده‌تر در بخش‌های دیگر کشور و نیز با تعداد بیش‌تر نمونه‌ها و سایر خصوصیات اقلیمی و ادافیکی امکان‌پذیر خواهد بود.

با توجه به زمزمه بهره‌برداری از درختان بادافتاده و شکسته در جنگل‌های شمال و شروع بهره‌برداری دوباره از جنگل در صورت ادامه فعالیت بهره‌برداری، باید عواملی مانند شیب (Naghdi *et al*., 2020; Sohrabi *et al*., 2019)، میزان رطوبت خاک در زمان چوب‌کشی (Hansson *et al*., 2018)، بافت خاک (Mariotti *et al*., 2020; mostafanezhad *et al*., 2019) وزن مخصوص ظاهری خاک، (Lotfalian, 2011)، و میزان هوموس و مواد آلی (Sohrabi *et al*., 2019) که نقش مهمی در میزان مقاومت فیزیکی خاک در ارتباط با وزن و تعداد تردد ماشین‌های کشنده زمینی دارند، مدنظر قرار گیرند. از موارد دیگر برای کاهش اثرات چوب‌کشی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

توجه به شاخص‌هایی مانند جنس خاک، سنگ بستر، وضعیت زادآوری، توپوگرافی، شیب و ناهمواری در طراحی مسیرهای چوب‌کشی. طراحی مسیرهای چوب‌کشی در امتداد خطوط منحنی میزان برای جلوگیری از تخریب خاک باید مسیرهای چوبکشی با طول کوتاه‌تر، پوشش عرضی کمتر، انشعابات کمتر و تعداد بیشتری در مسیر استفاده شوند.

مسیرهای چوب‌کشی فاقد روسازی و بسترسازی هستند، در نتیجه تردد ماشین‌آلات بر روی بستر مسیرهای جنگلی به‌دفعات زیاد ایجاد فرورفتگی، رد چرخ و رد گرده‌بینه می‌نماید. با توجه به شیب طولی زیاد و هم‌چنین بار زیاد و حتی کشیدن بار روی مسیر، این فرو رفتگی‌ها باعث ایجاد کانال‌های بزرگ می‌شوند که این خود جدای از کوبیدگی خاک موجب افزایش رواناب می‌شود. باید کوشش نمود تا تعداد تردد کمتر گردد و یا با ایجاد شیارهایی عکس جهت، از رواناب جلوگیری نمود.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

References

Abdollahi, Z., Sadeghi, S. H., & Khaledi Darvishan, A. (2016). Variation of simulated rainfall characteristics by permuting intake discharge and water pressure. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, *10*(34), 51-62. [In Persian]

Ahmadi, M., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Khalighi, S. (2019). The effect of sawdust mulch application on amount of runoff in the skid trails (Case study: Kheyrud Forest). *Iranian Journal of Forest*, *11*(3), 297-307.

Ahmadi-Sani, N., Razaghnia, L., & Pukkala, T. (2022). Effect of land-use change on runoff in Hyrcania. *Land*, *11*(2), 220.

Akbarimehr, M., & Naghdi, R. (2012). Determination of most appropriate distance between water diversions on skid trails in the mountainous forest, north of Iran. *Catena*, 88, 68-70.

Anonymous, (2001). Forest Management Plan, Loveh Forest, District No. 1. Published by Natural Resources and Watershed Management Office at Golestan province, Gorgan, 780p. [In Persian]

Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P., & Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research,* 93, 324-334.

Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. Methods of soil analysis: Part 1 *Physical and Mineralogical Methods,* 5, 363-375.

Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal,* 54(5), 464-465.

Cristan, R., Aust, W. M., Bolding, M. C., & Barrett, S. M. (2019). Estimated sediment protection efficiences for increasing levels of best management practices on forest harvests in the piedmont, USA. *Forests*, *10*(11), 997.

Elliot, W.J. (2013). Erosion processed and prediction with WEPP technology in forests. *American Society of Agricultural and Biological Engineers,* 56(2), 563- 579

Fernandez, C., & Vega, J. A. (2016). Effects of mulching and post-fire salvage logging on soil erosion and vegetative regrowth in NW Spain. *Forest Ecology and Management,* 375, 46-54.

Foroumadi, M., & Vaezi, A. R. (2020). Effect of Surface Slope on the Selectivity of Particles in Splash Erosion in Different Soils. *Applied Soil Research.* 8(2), 99-111. [In Persian]

Gholamahmadi, B., Jeffery, S., Gonzalez-Pelayo, O., Prats, S. A., Bastos, A. C., Keizer, J. J., & Verheijen, F. G. (2023). Biochar impacts on runoff and soil erosion by water: A systematic global scale meta-analysis. *Science of the Total Environment*, *871*, 161860.

Haas, J., Schack-Kirchner, H., & Lang, F. (2020). Modeling soil erosion after mechanized logging operations on steep terrain in the Northern Black Forest, Germany. *European Journal of Forest Research*, *139*(4), 549-565.

Hansson, L. J., Koestel, J., Ring, E., & Gärdenäs, A. I. (2018). Impacts of off-road traffic on soil pHysical properties of forest clear-cuts: X-ray and laboratory analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research,* 33(2), 166-177.

Heninger, R., Scott, W., Dobkowski, A., Miller, R., Anderson, H., & Duke, S. (2002). Soil disturbance and 10-year growth response of coast Douglas-fir on nontilled and tilled skid trails in the Oregon Cascades. *Canadian Journal of Forest Research*, *32*(2), 233-246.

Jabbary Zahra, A., Mohammadi Ghaleni, M., Moghaddasi, M., & Dehban, H. (2022). The effect of slope and rainfall intensity on runoff and soil erosion using a rainfall simulator. *Environmental Erosion Research,* 12(1), 113-128.

Jourgholami, M., & Majnounian, B. (2011). Soil compaction and disturbance from logging with a wheeled skidder. *Iranian Journal of Forest*, 2(4), 287-298.

Jourgholami, M., & Majnounian, B. (2013). Effect of Soil Moisture and Number of Skidder Passes on Rutting in Skid Trails. *Journal of Forest and Poplar Research,* 65(4), 421-430. [In Persian]

Jourgholami, M., Fathi, K., & Labelle, E. R. (2018). Effects of foliage and traffic intensity on runoff and sediment in skid trails after trafficking in a deciduous forest. *European Journal of Forest Research*, *137*, 223-235.

Khaledi Darvishan, A., Homayonfar, V., & Sadeghi, S. H. (2016). Designing, Construction and Calibration of a Portable Rainfall Simulator for Field Runoff and soil Erosion Studies. *Watershed Management Science and Engineering,* 10(34), 105- 112. [In Persian]

Kiani Harchegani, M., Saeidi, P., & Sadeghi, S. H. (2018). Analysis of rating loops of interrill erosion on consecutive storms under laboratory conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 49(2), 293-302. [In Persian]

Kord, M., Vaezi, A. R., & Mahdian, M. H. (2020). Study of Changes in Sediment Concentration and Soil Loss and Its Temporal Variation in Different Conditions of Slope and Rainfall Intensity. *Water and Soil Science,* 30(2), 59-73. [In Persian]

Lotfalian, M. (2011). Wood transportation. Aeeizh press. 360p.

Lotfalian, M., Shirvani, Z., & Naghavi, H. (2009). Investigation of effective factors on skid roads erosion. *Iranian Journal of Forest*, 1(2), 115-124. [In Persian]

Mariotti, B., Hoshika, Y., Cambi, M., Marra, E., Feng, Z., Paoletti, E., & Marchi, E. (2020). Vehicle-induced compaction of forest soil affects plant morpHological and pHysiological attributes: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management,* 462, 118004.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]

Mendes, T. A., Alves, R. D., Gitirana Jr, G. D. F. N., Pereira, S. A. D. S., Rebolledo, J. F. R., & da Luz, M. P. (2021). Evaluation of rainfall interception by vegetation using a rainfall simulator. *Sustainability*, *13*(9), 5082.

Moghadamirad, M., Abdi, E., M. Mohseni Saravi, M., Rouhani, H and B. Majnounian, B. (2014). Effect of forest road gradient on amount of sediment and runoff. *Journal of Forest and Wood Products*, 20(4), 634-644. [In persian]

Mohammadamini, H., & Alavi, J. (2020). Effects of Soil Surface Rock Fragments on Runoff Variables of Field Plots under Rainfall Simulation. *Journal of Watershed Management Research,* 11(22), 243-253. [In Persian]

Mostafanezhad, S. R., Pourmadjidian, M. R., Espahbodi, K., & Eghtesadi, A. (2019). The Environmental Effects of Skidder Traffic and Skidding Directions on Forest Soil Compaction and the Regeneration Establishment Condition in Choob-e- Farim Forests. *Ecology of Iranian Forests,* 7(14), 22-30. [In Persian]

Naghdi, R., Solgi, A., Labelle, E. R., & Nikooy, M. (2020). Combined effects of soil texture and machine operating trail gradient on changes in forest soil pHysical properties during ground-based skidding. *PedospHere,* 30(4), 508-516.

Nocentini, S., Travaglini, D., & Muys, B. (2022). Managing Mediterranean forests for multiple ecosystem services: Research progress and knowledge gaps. *Current Forestry Reports,* 8, 229–256. https://doi.org/10. 1007/s40725-022-00167-w

Parsakhoo, A., Yolma, G., Bordi Sheykh, V., Mohamadi, J., & Rezaee Motlaq, A. (2023). The Relations of Rainfall Duration and Intensity and Sediment Yield from Treated Ditch by Conservation Practices in Forest Roads. *Ecology of Iranian Forests*, *11*(21), 54-61.

Parvizi, Y., Bayat, R., Arabkhedri, M., & Fatehi, S. (2020). Determination of Main Agents Affecting Soil Erosion in Rainfed Land of Kermanshah Province Using Rainfall Simulator. *Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering,* 14(49), 70- 83. [In Persian]

Pérez-Latorre, F. J., de Castro, L., & Delgado, A. (2010). A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil and Tillage Research,* 107(1), 11-16.

Safari, A., Kavian, A., Parsakhoo, A., Saleh, I., & Jordan, A. (2016). Impact of different parts of skid trails on runoff and soil erosion in the Hyrcanian forest. *Geoderma*, 263, 161-167.

Saidian, H., & Moradi, H.R. (2013). Investigating of erosion and sediment different land uses on Aghajari deposits. *Journal of Water and Soil Sciences,* 17(64), 209-220.

Shah, N. W., & Nisbet, T. R. (2019). The effects of forest clearance for peatland restoration on water quality. *Science of the Total Environment,* 693, 133617. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133617

Sheridan, G., Noske, P., Lane, P., & Sherwin, C. (2008). Using rainfall simulation and site measurements to predict annual inter rill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements. *Catena,* 73, 49-62.

Sohrabi, H., Jourgholami, M., Tavankar, F., Venanzi, R., & Picchio, R. (2019). Post-harvest evaluation of soil pHysical properties and natural regeneration growth in steep-slope terrains. *Forests,* 10(11), 1034.

Solgi, A., & Najafi, A. (2014). The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Journal of Forest Science,* 60(1), 28-34.

Titti, G., Sarretta, A., Lombardo, L., Crema, S., Pasuto, A., & Borgatti, L. (2022). Mapping susceptibility with open-source tools: A new plugin for QGIS. *Frontiers in Earth Science,* 10, 842425. https://doi.org/10. 3389/feart.2022.842425

Wackley, H., & Black, I.A. (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid method. *Soil Science,* 37, 29–38.

Wildhaber, Y. S., Banninger, D., Burr, K., & Alewell, C. (2011). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on Subalpain grassland, *Catena,* 75, 2-7.

Yue, L., Juying, J., Bingzhe, T., Binting, C., & Hang, L. (2020). Response of runoff and soil erosion to erosive rainstorm events and vegetation restoration on abandoned slope farmland in the Loess Plateau region, China. *Journal of Hydrology*, *584*, 124694.

Zare, K. M., Najafinejad, A., Noura, N., & Kavian, A. (2012). Effects of slope and soil properties on runoff and soil loss using rainfall simulator, Chehel-chai watershed, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation,* 19(2), 165-178. [in Persian]

Zare, S. , Sadeghi, S. H. and Khosravani, A. (2020). Effectability of Runoff Generation and Soil Loss from Application of Residual Fine Amendments in Small Experimental Plots. *Journal of Water and Soil Conservation*, *27*(2), 195-207. doi: 10.22069/jwsc.2020.17261.3272. [In Persian]

Zemke, J. J. (2016). Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small scale rainfall simulator. *Journal of Hydrology*, 3(25), 1-21.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.533]