



University of Tehran

Impact of forest exploitation operations on river water quality indicators in afforestation areas: Case study of the Series 2 poplar plantation, Tanian, Soumehsara

Reza Javadi¹ | Ismael Ghajar^{2*} | Ramin Naghdi³ |
Mohsen Mohammadi Galangash⁴

1. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. Email: javadiseyedreza@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. Email: i.ghajar@guilan.ac.ir

3. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. Email: rnaghdi@guilan.ac.ir

4. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. Email: m_mohammadi@guilan.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 09 July 2025

Revised: 23 August 2025

Accepted: 28 August 2025

Published online: 16 September 2025

Keywords:

Heavy metals,
Pollution,
River,
Skidder,
Spruce plantation.

ABSTRACT

Forest management can significantly affect water quality in watershed areas. This study assessed the effects of timber harvesting using a Clark rubber-tired skidder on water quality parameters and heavy metal concentrations in a poplar plantation (Series 2) in Tenyān, Someh Sara County. Sampling of the Khon Abkash River was conducted within the plantation. Water parameters including temperature, pH, electrical conductivity, and total dissolved solids were measured in three replicates along the watercourse. Water samples were collected at 40-meter intervals for analysis of heavy metals and sediment weight using inductively coupled plasma (ICP) spectrometry. Results showed a significant relationship between harvesting intensity and increases in water temperature, electrical conductivity, dissolved solids, and pH variation. Mean concentrations of lead, nickel, vanadium, chromium, zinc, and iron varied significantly across river sections, while cobalt showed no significant change. The highest changes were observed for iron (58.002 mg/L), sediment weight (21.1429 mg/L), and vanadium (5.1486 mg/L), while the lowest changes were for cadmium (0.0371 mg/L), lead (0.434 mg/L), and copper (1.2196 mg/L). An independent t-test confirmed significant differences in water quality between the harvested area and the control site. Overall, the reduction in canopy cover and ground vegetation due to logging and skidder operations increased sediment load and heavy metal concentrations, thereby reducing river water quality. These findings emphasize the need for careful forest harvesting management to safeguard water resources.

Cite this article: Javadi, R., Ghajar, I., Naghdi, R., Mohammadi Galangash, M. (2025). The impact of forest exploitation operations on river water quality indicators in afforestation areas: Case study of the Series 2 poplar plantation, Tanian, Soumehsara. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (2), 209-221. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.397690.1351>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.397690.1351>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

تأثیر عملیات بهره‌برداری جنگل بر شاخص‌های کیفی آب رودخانه در عرصه‌های جنگلکاری مطالعه موردی: صنوبر کاری سری ۲ تنیان صومعه‌سرا

سید رضا جوادى^۱ | اسماعیل قجر^{۲*} | رامین نقدی^۳ | محسن محمدی گلنگش^۴

۱. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: javadiseyedreza@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: i.ghajar@guilan.ac.ir

۳. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: maghdi@guilan.ac.ir

۴. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: m_mohammadi@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

کلیدواژه:

اسکیدر،

آلودگی،

رودخانه،

صنوبر کاری،

فلزات سنگین.

مدیریت جنگل می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت منابع آب در حوزه‌های آبخیز داشته باشد. این پژوهش، با هدف بررسی اثر عملیات بهره‌برداری با استفاده از اسکیدر چرخ‌لاستیکی بر متغیرهای کیفی آب و غلظت برخی فلزات سنگین در عرصه صنوبر کاری سری ۲ تنیان شهرستان صومعه‌سرا انجام شد. نمونه‌برداری از جریان رودخانه خون آبکش در داخل عرصه صنوبر کاری انجام شد. متغیرهای دمای آب، pH، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول به‌صورت سه تکرار در طول یک مسیر آبراهه اندازه‌گیری شدند. همچنین نمونه‌برداری آب برای سنجش غلظت فلزات سنگین و وزن رسوبات در فواصل ۴۰ متری مسیر آبراهه انجام و داده‌ها با استفاده از طیف‌سنج پلاسما القایی (ICP) تحلیل شدند. نتایج نشان داد بین شدت بهره‌برداری و افزایش دمای آب، هدایت الکتریکی، مواد محلول و تغییرات pH رابطه معنی‌دار وجود دارد. همچنین میانگین غلظت فلزات سرب، نیکل، وانادیوم، کروم، روی و آهن در مناطق مختلف رودخانه تفاوت معنی‌داری نشان داد، اما کبالت تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین تغییرات مربوط به متغیرهای آهن، وزن رسوبات و وانادیم به‌ترتیب به‌میزان ۵۸/۰۰۲، ۲۱/۱۴۲۹ و ۵/۱۴۸۶ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین تغییرات مربوط به متغیرهای کادمیم، سرب و مس به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۳۷۱، ۰/۴۳۴ و ۱/۲۱۹۶ میلی‌گرم بر لیتر بود. نتایج آزمون تی مستقل نیز نشان داد، کیفیت آب در عرصه بهره‌برداری نسبت به منطقه شاهد کاهش یافته است. به‌طور کلی، حذف پوشش گیاهی و تاجی ناشی از بهره‌برداری و عملیات بهره‌برداری زمینی موجب افزایش رسوبات، فلزات سنگین و کاهش کیفیت آب رودخانه شده است. این نتایج، ضرورت مدیریت دقیق عملیات بهره‌برداری جنگل برای حفاظت از منابع آبی را نشان می‌دهد.

استناد: جوادى؛ سید رضا، قجر؛ اسماعیل، نقدی؛ رامین، محمدی گلنگش؛ محسن (۱۴۰۴). تأثیر عملیات بهره‌برداری جنگل بر شاخص‌های کیفی آب رودخانه در عرصه‌های جنگلکاری مطالعه موردی: صنوبر کاری سری ۲ تنیان صومعه‌سرا. *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۸ (۲)، ۲۰۹-۲۲۱. DOI: <https://10.22059/jfwf.2025.397690.1351>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.397690.1351>



۱. مقدمه

شرایط اکولوژیک حاشیه رودخانه و دمای جریان آب از عوامل کلیدی مؤثر بر کیفیت زیستگاه‌های آبی هستند. ریز اقلیم زیر تاج‌پوشش جنگل‌ها به‌طور گسترده مطالعه شده است اما معمولاً توجهی به نواحی کنار رودخانه نشده است [۱]. تأثیرات مدیریت جنگل بر کمیت و کیفیت رواناب برای مدیران جنگل و کاربران آب جالب بوده است و موضوع مهمی در مباحث محیط‌زیستی است، به‌طوری که کمیت و کیفیت آب ناشی از آبخیزهای جنگلی در بخش‌ها و فعالیت‌های دیگری چون کشاورزی، تولید برق، تفرج و زیستگاه ماهیان و سایر گونه‌های حیات وحش اهمیت دارند. عملیات برداشت چوب به‌عنوان مهمترین نیازهای بشر و صنایع وابسته، با حذف درختان و تاج‌پوشش و ایجاد حفره در حوزه‌های آبخیز جنگلی تأثیر قابل توجهی بر کمیت و کیفیت آب دارد [۱]. پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب شامل غلظت بالای نمک‌های محلول، مواد جامد معلق و مواد مغذی، به‌ویژه در دوره‌های اوج جریان است. این اثرات با ایجاد روزنه و حذف پوشش گیاهی در نواحی کنار رودخانه‌ها بیشتر نمود دارد و سبب نفوذ نور خورشید به نواحی کنار رودخانه‌ای می‌شود. مناطق کنار رودخانه به‌طور معمول دارای سطح ایستابی آب بالاتر و رطوبت خاک بیشتری نسبت به مناطق مجاور هستند [۱]. به‌دلیل این شرایط هیدرولوژیک، پوشش جنگلی و پوشش زیر اشکوب در سواحل رودخانه اغلب با مناطق بالادست آن متفاوت است، که این امر می‌تواند روی نفوذ تابش خورشیدی و کاهش باران‌رایی مؤثر باشد [۱]. علاوه بر اثرات پوشش جنگل و رطوبت بالاتر خاک، ریز اقلیم ساحل رودخانه نیز ممکن است تحت تأثیر جریان باشد که می‌تواند به‌عنوان منبع انتشار بخار آب و تعدیل‌کننده گرما در طول روز عمل کند و یک شرایط خنک و مرطوب‌تری را در نزدیکی جریان ایجاد کند [۲]. نور خورشید، سرعت باد و دمای خاک بسیار سریع‌تر نسبت به رطوبت نسبی و دمای هوا، با شرایط داخلی جنگل تنظیم می‌شوند. وجود درختان با توجه به گستردگی تاج‌پوشش آن، تأثیر زیادی در میزان دمای زیر درختان دارد. وجود تاج‌پوشش درختان مانع از تابش مستقیم خورشید به سطح آب در نواحی جنگلی می‌شود که این امر از افزایش دمای آب جلوگیری کرده و مانع از کاهش کیفیت آب و تغییر زیستگاه آبی می‌شود [۳]. در یک پژوهش در شمال کالیفرنیا، به‌منظور اندازه‌گیری دمای هوا در بالای جریان‌های آب رودخانه در اوایل بعد از ظهر، دریافتند که دمای هوا با افزایش عرض بافر در جنگل (منطقه جنگل حفاظتی و حائل) کاهش می‌یابد، بدین‌صورت که تا ۳۰ متر، ۱/۶ درجه سانتی‌گراد و از ۳۰ تا ۱۵۰ متر، ۰/۲ درجه به‌ازای هر ۱۰ متر عرض بافر کاهش دما ثبت شد [۳]. نور خورشید به‌طور قابل توجهی در مناطق بهره‌برداری شده و بدون پوشش جنگلی نسبت به شرایط پیش از بهره‌برداری افزایش می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهند که بیشتر تغییر در ریز اقلیم در حدود ارتفاع یک درخت (۱۵ تا ۶۰ متر) از لبه جنگل اتفاق می‌افتد [۴، ۵]. دمای سطح خاک پس از بهره‌برداری افزایش می‌یابد. هنگامی که بافرهای با عرض کمتر از ۴۵ متر (حدود ارتفاع یک درخت) در نظر گرفته می‌شود، تغییرات موجود پیش از بهره‌برداری، از کنار رودخانه تا نواحی بالادست دچار نوسان شدید می‌شود که این موضوع روی شرایط زیستگاهی جانوران کنار رودخانه تأثیر می‌گذارد. میزان تغییرات ریز اقلیم کنار رودخانه، در اثر بهره‌برداری جنگل، بستگی به عرض بافر (دست نخورده) کنار رودخانه و چگونگی گسترش اثرات حاشیه‌ای به درون بافرها دارد [۴]. Gravelle و Link (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای با نصب شبکه‌ای از ثبت‌کننده‌های دما در آب، به بررسی تأثیر برداشت چوب بر دمای اوج رودخانه و روابط بین گیاهان جنگلی، دمای جریان و پوشش کناره‌های رودخانه در حوزه آبخیز در شمال آیداهو پرداختند. حوضه‌های آبی تیمارها شامل ۵۰ درصد حذف تاج‌پوشش با استفاده از روش‌های برش یکسره و روش‌های برش انتخابی بودند. در این پژوهش، تاج‌پوشش در طول دوره، قبل و بعد از تیمار اندازه‌گیری شد. علی‌رغم افزایش تخمین زده شده تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد، افزایش معنی‌داری در حداکثر دمای آب در سایت‌های اندازه‌گیری پایین‌دست مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که دمای آب در شبکه‌های جریان آب رودخانه می‌تواند بسیار متغیر باشد و نباید از سایه بالقوه پوشش گیاهی در مناطق برداشت شده غافل شد [۶]. در تحقیقی دیگر تأثیر برداشت و تولید چوب بر جریان‌ها در استرالیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد عمده اثرات کوتاه‌مدت برداشت چوب بر روی زیست‌توده‌های آبی، ناشی از افزایش ورود رسوب به جریان‌ها یا افزایش نور ناشی از آسیب دیدن و یا حذف پوشش گیاهی کناره‌های رودخانه است. افزایش نور ممکن است تراکم بی‌مهرگان را افزایش داده و ترکیب جامعه را تغییر دهد. همچنین تأثیرات طولانی‌مدت، باعث تغییراتی در ساختار جریان می‌شود زیرا رشد درختان بزرگ برای سقوط در مسیر جریان، کمتر می‌شود. این

درختان بزرگ نقش عمده‌ای به‌عنوان زیستگاه و ساختارهای نگهدارنده در جریان‌ها دارند [۷]. علی‌رغم دهه‌ها تحقیق روی پاسخ دمایی جریان آب به بهره‌برداری جنگل، هنوز مباحث جدی در مورد تأثیرات دمایی جنگلداری و اینکه چطور باید آن را مدیریت نمود، وجود دارد. این مطالعه در یک نگاه کلی به دو نگرش می‌پردازد: (۱) برداشت جنگل ممکن است ریز اقلیم کنار رودخانه را تغییر دهد و روی زیستگاه‌های آبی و زمینی تأثیر بگذارد، به‌ویژه با از بین بردن پوشش گیاهی کنار رودخانه، ممکن است منجر به گرم شدن جریان‌ات یا تغییرات دیگر در دمای آب شود که می‌تواند اثرات مخرب بر روی موجودات آبی داشته باشد و (۲) ورود عناصر سنگین به جریان آب ناشی از بهره‌برداری با استفاده از ماشین‌آلات می‌باشد و می‌تواند آلودگی منابع آب و نفوذ آن در سفره‌های آب زیرزمینی و یا تجمع در آبندها را در پی داشته باشد و عدم مدیریت آن پیامدهای محیط‌زیستی خواهد داشت. وقتی فعالیت‌های جنگلداری براساس حوزه آبخیز ارزیابی می‌شوند، پس از فعالیت‌های برداشت و نازک شدن در مناطق ساحلی رودخانه‌ها، رژیم جریان آب تغییر می‌کند و هم دمای آب و هم جمعیت جلبک‌ها را افزایش می‌دهد [۱، ۳]. به دلیل کاهش پوشش گیاهی جنگلی در حوزه آبخیز، میزان رسوب و مواد آلی منتقل شده به جریان اصلی افزایش می‌یابد. این وضعیت کیفیت آب را کاهش می‌دهد و بر بی‌مهرگان، ماهی‌ها و سایر موجودات آبی تأثیر منفی می‌گذارد [۸]. کمیت و کیفیت منابع آب آبخیزهای جنگلی در فعالیت‌های کشاورزی، تولید برق، تفرج، آبی‌روزی و محیط‌زیستی اهمیت بالایی دارند. جهت بهره‌برداری اصولی از جنگل‌ها، شناخت عوامل تأثیرگذار بر کیفیت و کمیت جریان آب امری ضروری است. با توجه به جمع‌آوری آب‌های سطحی در استخرهای پایین‌دست در منطقه مورد مطالعه و استفاده از آب جمع‌آوری شده در امور کشاورزی و دامپروری، از این رو در این پژوهش تلاش گردید عوامل تأثیرگذار و میزان تأثیرگذاری آن بر کیفیت آب شناسایی و مورد بررسی قرار گیرد.

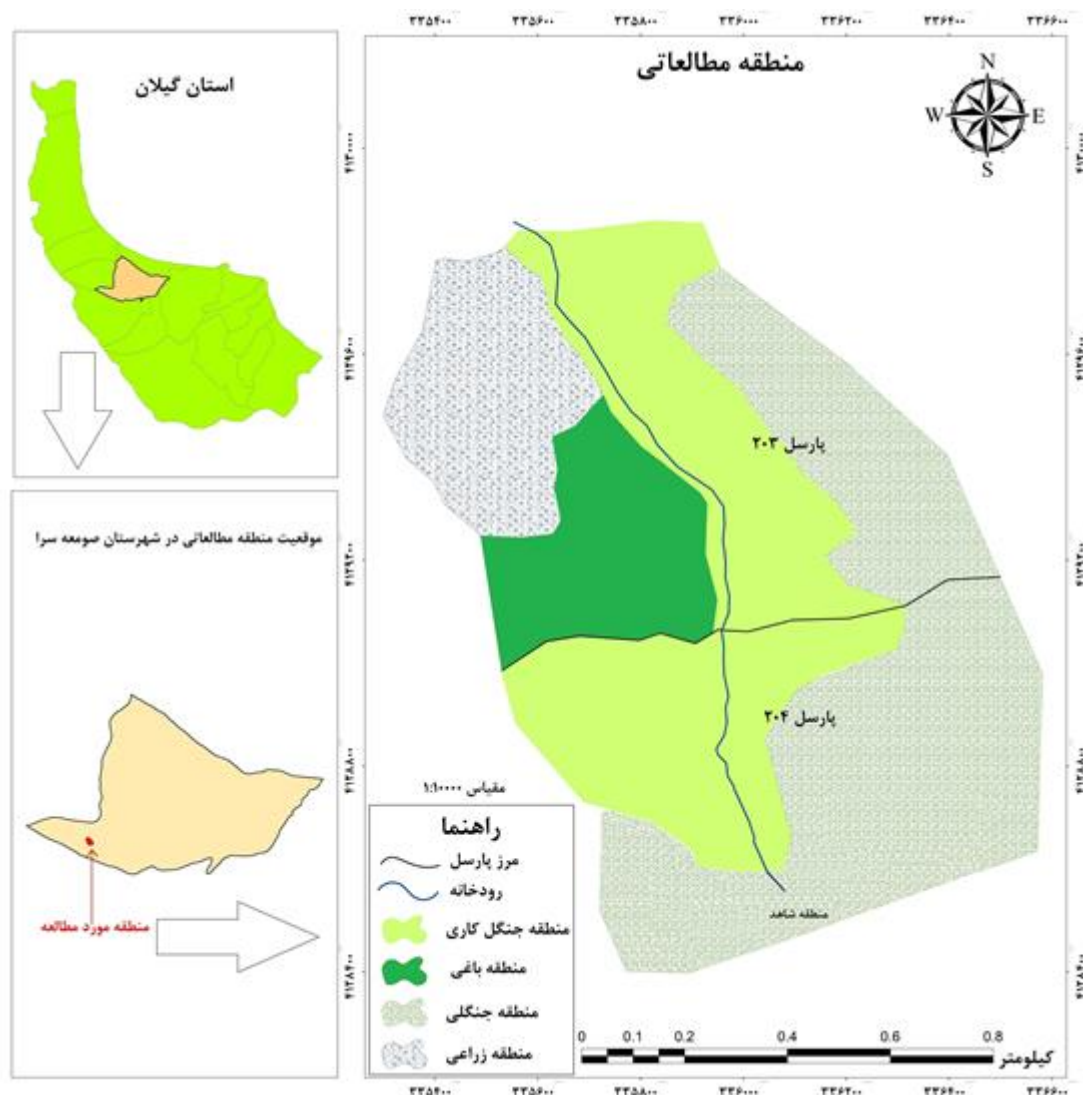
۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در پارسل‌های ۲۰۳ و ۲۰۴ سری دو تنیان واقع در حوزه آبخیز ۱۳ استان گیلان، در شهرستان صومعه‌سرا انجام شد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه براساس سیستم مختصات UTM در محدوده طول جغرافیایی ۳۳۵۴۰۰E تا ۳۳۶۶۰۰E و عرض جغرافیایی ۴۱۲۸۴۰۰S تا ۴۱۳۰۰۰۲S واقع شده است. مساحت کل طرح صنوبرکاری، ۳۱۵ هکتار و مساحت پارسل‌های منطقه مورد مطالعه ۴۳ هکتار است. پارسل ۲۰۳ با میانگین ارتفاعی ۱۰۰ متر و پارسل ۲۰۴ با میانگین ارتفاعی ۱۳۰ متر از سطح دریا قرار دارند. تیپ پوشش غالب جنگلکاری با گونه بومی صنوبر به همراه تک‌پایه‌های زادآوری توسکا، افرا، بلوط و ممرز است. مواد مادری خاک منطقه از نوع سنگ‌های آهکی و اسلیت و فیلیتی می‌باشد که تحت دگرگونی قرار گرفته‌اند. خاک منطقه دارای pH متوسط و در محدوده ۵/۵ تا ۶ و عمق خاک عمیق و ریشه دوانی در افق‌های سطحی بدون محدودیت می‌باشد. ضخامت لاشبرگ و خلل و فرج خاک به دلیل هوادیدگی لایه‌های سطحی زیاد و نفوذپذیری آب، بالا می‌باشد. متوسط دمای سالانه منطقه، ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی، برابر با ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه منطقه مورد مطالعه، حدود ۸۲۰/۴۶ میلی‌متر می‌باشد که از نظر طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه جزء مناطق مرطوب سرد محسوب می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، رودخانه دائمی به طول یک کیلومتر عبور می‌کند. دبی جوی آب به‌طور متوسط در فصل پاییز و زمستان، ۸۰ لیتر در دقیقه و در فصل بهار و تابستان، ۳۰ لیتر بر دقیقه در واحد سطح مقطع جوی می‌باشد. حجم برداشت دو پارسل، ۱۲۶۰ متر مکعب و عملیات برداشت و چوبکشی در شهریورماه صورت گرفت. روش جنگل‌شناسی در منطقه بهره‌برداری به‌صورت قطع یکسره و سیستم بهره‌برداری، چوبکشی زمینی نیمه‌مکانیزه به‌صورت تمام تنه با استفاده از اسکیدر چرخ لاستیکی کلارک صورت گرفت.

۲-۲. روش پژوهش

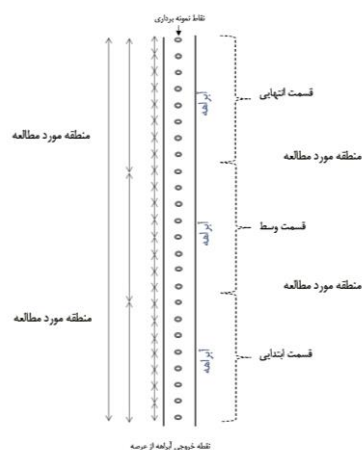
در این پژوهش، وضعیت تاج‌پوشش به‌عنوان متغیر مستقل و شاخص‌های کیفیت آب شامل pH، دما، مواد جامد محلول، فلزات سنگین و میزان رسوب به‌عنوان متغیرهای وابسته مشخص شدند. حرکت در منطقه مورد مطالعه در طول آبراهه از پایین به سمت بالادست بود. سپس وضعیت تاج‌پوشش از نظر باز و یا بسته بودن مورد بررسی قرار گرفت. وضعیت تاج‌پوشش درختان با دو کد ۱



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه، پارسل‌های ۲۰۳ و ۲۰۴ سری ۲ تنیان

تاج پوشش بسته و کد ۲ تاج‌پوشش باز به صورت قراردادی مشخص شد. روزه‌های موجود که تحت تأثیر عوامل طبیعی شامل خشک شدن و ریشه‌کن شدن و یا عوامل انسانی شامل شاخه‌زنی و بهره‌برداری، مشخص شدند. نقاط سایه شامل بافرهایی از گونه‌های جنگلی توسکا، افرا و ممرز بودند. طول روزه‌ها و قسمت‌های سایه (قسمت‌های آفتابی و قسمت‌های سایه) به وسیله متر اندازه‌گیری شدند و وسط آن به عنوان محل اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب انتخاب شدند. نقاط اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه GPS دستی جهت مشخص نمودن ایستگاه‌های ثابت نمونه‌برداری برداشت شد. در محل نمونه‌برداری متغیرهای کیفی آب شامل دمای آب، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول و pH به وسیله دستگاه اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب Waterproof Tester مدل HI98129 که قبلاً با استفاده از محلول‌های استاندارد واسنجی شده‌است، ثبت شدند [۹]. مسیر آبراهه به طول ۹۶۰ متر به سه قسمت ابتدایی، وسط و انتهایی، هر کدام به طول ۳۲۰ متر مشخص شد. نمونه‌برداری در هر منطقه، در فواصل ۴۰ متری از هم و در سه تکرار با پیشرفت عملیات بهره‌برداری صورت گرفت. جهت نمونه‌برداری ۲۴ ایستگاه در طول آبراهه و یک ایستگاه در بالاترین نقطه آبراهه که در آن هیچ‌گونه عملیات بهره‌برداری صورت نگرفته بود، به عنوان منطقه شاهد مشخص شد. نمونه‌برداری در سه تکرار انجام شد (در کل به تعداد ۷۵ نمونه) (شکل ۲). به طوری که در هر یک از قسمت‌های ابتدا، وسط و انتهایی عرصه بهره‌برداری، برای هر تکرار، ۱۴۰ متر مربع چوب طبق صورت مجلس استحصال، از عرصه خارج شد. جهت انجام آزمایش فلزات سنگین آب، نمونه‌برداری با استفاده از ظروف نمونه‌برداری آب از جنس پلی اتیلن صورت گرفت.

این ظروف، در ابتدا با استفاده از اسید نیتریک ۵ درصد کاملاً شسته شدند و با استفاده از آب مقطر بدون یون آبکشی و سپس خشک شدند [۹]. در هر ایستگاه، دو نمونه یک لیتری از جریان، یکی جهت اندازه‌گیری رسوبات جریان و دیگری برای اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین برداشت شد. پت‌های نمونه جهت انجام تست ICP به‌وسیله دستگاه به آزمایشگاه انتقال داده شد. رسوبات موجود در آب پس از ته‌نشین شدن و خشک شدن در آون به روش توزین اندازه‌گیری شدند. عناصر موجود در آب نیز با دستگاه تست ICP اندازه‌گیری شدند. شرایط جوی در زمان نمونه‌برداری ثابت و پایدار بود و تأثیری در ثبت و جمع‌آوری داده‌ها نداشت. برای این آزمایش، از دستگاه طیف‌سنج نشری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) مدل SVDV5110 ساخت کمپانی Agilent آمریکا استفاده شد. این روش بر مبنای استفاده از پلازما به‌عنوان منبع برانگیختگی جهت آنالیز کمی و کیفی عناصر می‌باشد. در این روش، جریانی از گاز آرگون توسط یک میدان مغناطیسی با فرکانس رادیویی مشخص، یونیزه می‌شود و در حرارتی نزدیک به ۱۲ هزار درجه کلوین تولید می‌کند. نمونه توسط یک نبولایزر به داخل پلاسمای آرگون پاشیده می‌شود و در دمای بالا تبدیل به ذرات اتمی (یونی) شده و ایجاد نشر می‌کند. در نهایت، میزان نشر توسط دستگاه اندازه‌گیری می‌شود [۱۰]. طیف‌سنجی نشری پلاسمای جفت‌شده القایی، یکی از مهم‌ترین روش‌های دستگاهی آنالیز عنصری است. از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری عناصر در نمونه‌های نمونه‌های خاک، آب، فلزات، سرامیک‌ها و نیز نمونه‌های آلی استفاده کرد. نمونه‌برداری در شهریور و با شرایط جوی پایدار از نظر دمای هوا، باد و رطوبت صورت گرفت. جمع‌آوری داده‌ها در ساعت ۱۲ روز و در نقاط مشخص شده به‌وسیله دستگاه GPS برداشت شد. داده‌ها پس از گردآوری در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعاتی وارد شدند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، روابط بین متغیرها با آزمون تجزیه واریانس دو عامله مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های فلزات سنگین (تست لون) نشان داد، داده‌ها دارای توزیع نرمال است. در این پژوهش، جهت مقایسه معنی‌داری داده‌های کیفیت آب در دو منطقه بهره‌برداری شده و شاهد، از آزمون تی مستقل در سطح معنی‌دار ۹۵ درصد و جهت بررسی روابط بین برداشت و متغیرهای کیفیت آب شامل دمای آب، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول و pH و میزان فلزات سنگین از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. جهت مقایسه میانگین داده‌های کیفیت آب در ابتدا، وسط و انتهای رودخانه در منطقه بهره‌برداری شده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. همچنین جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی روابط بین متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل از مدل رگرسیون خطی و لجستیک در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد استفاده شد.



(ب)



(الف)

شکل ۲. الف) نحوه جمع‌آوری نمونه‌ها (ب) نمای شماتیک از عرصه بهره‌برداری و نقاط نمونه‌برداری

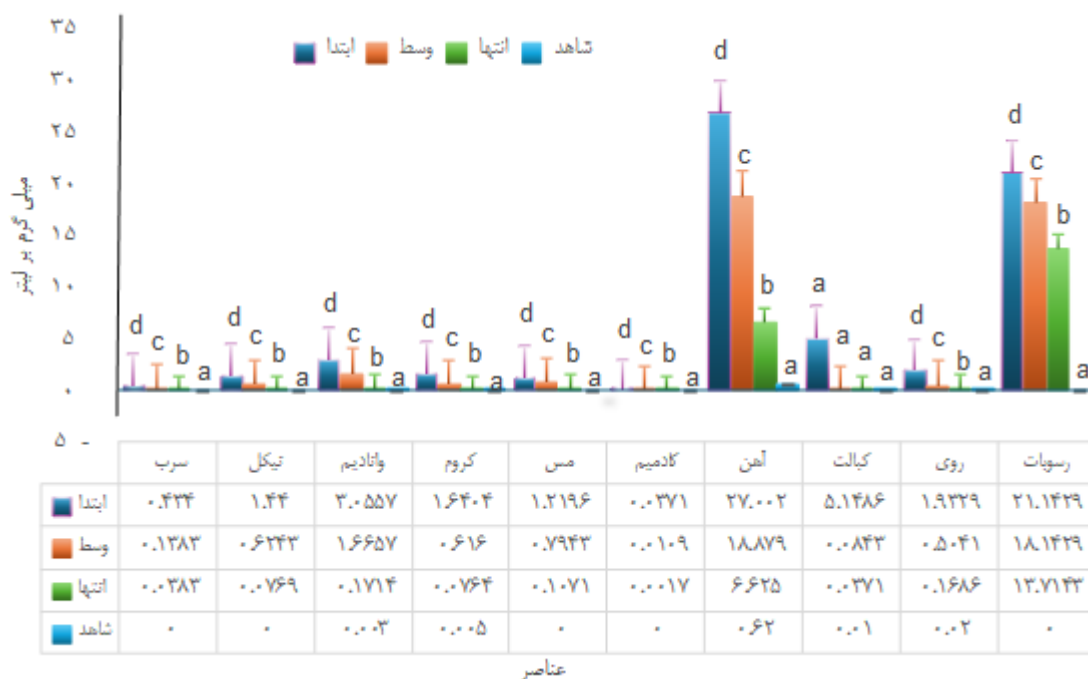
۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. مقایسه میانگین آلودگی اول، وسط و انتهای رودخانه

یکی از بحران‌های محیط‌زیستی جوامع بشری بحث کیفیت منابع آب است. دخالت‌های انسانی در محیط پیرامون روستاهای همجوار جنگل سبب تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی در رودخانه‌ها، نهرها و سایر منابع آبی می‌شود. هنگام برداشت چوب از جنگل، تغییرات مهمی در آب‌خیزها اتفاق می‌افتد که می‌تواند غلظت پارامترهای شیمیایی و فیزیکی جریان آبی را تغییر دهد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) نشان داد میانگین داده‌های کیفیت آب در مورد عناصر سرب، نیکل، وانادیوم، کروم، روی و آهن در ابتدا، وسط و انتهای رودخانه در منطقه بهره‌برداری شده دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۱ و شکل ۳).

جدول ۱. نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه جهت مقایسه میانگین آلودگی اول، وسط و انتهای رودخانه

معنی‌داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۰۰۰	۳۲/۰۷۲	۰/۲۹۶	۲	۰/۵۹۳	بین گروه‌ها
		۰/۰۰۹	۱۸	۰/۱۶۶	درون گروه‌ها
			۲۰	۰/۷۵۹	مجموع
۰/۰۰۰	۸۴/۶۸۱	۲/۲۹۴	۲	۶/۵۸۸	بین گروه‌ها
		۰/۰۳۹	۱۸	۰/۷۰۰	درون گروه‌ها
			۲۰	۷/۲۸۸	مجموع
۰/۰۰۰	۹۵/۱۵۲	۱۴/۵۵۶	۲	۲۹/۱۳۰	بین گروه‌ها
		۰/۱۲۵۳	۱۸	۲/۷۷۵	درون گروه‌ها
			۲۰	۳۱/۸۸۵	مجموع
۰/۰۰۰	۶۱/۹۸۰	۴/۴۱۸	۲	۸/۸۳۹	بین گروه‌ها
		۰/۰۷۱	۱۸	۱/۲۸۳	درون گروه‌ها
			۲۰	۱۰/۱۱۹	مجموع
۰/۰۰۰	۷۴/۳۹۶	۱/۹۵۰	۲	۳/۹۰۰	بین گروه‌ها
		۰/۰۲۶	۱۸	۰/۴۴۶	درون گروه‌ها
			۲۰	۴/۳۴۵	مجموع
۰/۰۰۰	۲۴/۰۷۷	۶/۱۴۴	۲	۱۲/۲۸۹	بین گروه‌ها
		۰/۲۵۵	۱۸	۴/۵۹۳	درون گروه‌ها
			۲۰	۱۶/۸۸۲	مجموع
۰/۰۰۰	۹۴/۱۸۲	۰/۰۰۲	۲	۰/۴۰۰	بین گروه‌ها
		۰/۰۰۰	۱۷	۰/۰۰۰	درون گروه‌ها
			۲۰	۰/۰۰۵	مجموع
۰/۰۰۰	۵۸/۹۸۶	۵۰۴۰۴۰/۸۸۲	۲	۱۰۰۸۰۸۱/۷۶۵	بین گروه‌ها
		۸۵۴۵/۰۸۵	۱۸	۱۱۵۸۱۱/۵۳۴	درون گروه‌ها
			۲۰	۱۱۶۱۸۲۹/۲۹۹	مجموع
۰/۳۲۴	۱/۲۰۱	۶۰/۴۰۵	۲	۱۲۰/۸۱۰	بین گروه‌ها
		۵۰/۲۸۷	۱۸	۹۰۵/۱۵۹	درون گروه‌ها
			۲۰	۱۰۲۵/۹۶۹	مجموع
۰/۰۰۰	۴۴/۹۵۶	۹۷/۷۶۲	۲	۱۹۵/۵۲۴	بین گروه‌ها
		۲/۱۷۵	۱۸	۳۹/۱۴۳	درون گروه‌ها
			۲۰	۲۳۴/۶۶۷	مجموع



شکل ۳. نمودار تفاوت معنی‌دار عناصر در ابتدا، وسط و انتهای جوی با منطقه شاهد

این اختلاف معنی‌دار در مورد عنصر کبالت مشاهده نشد. میزان کبالت در روغن موتور و گازوئیل به‌طور معمول بسیار ناچیز است. از طرف دیگر، روغن‌های صنعتی و سوخت‌ها معمولاً برای کاهش سایش و بهبود عملکرد به افزودنی‌های معدنی مانند کبالت یا سایر ترکیبات فلزی نیاز دارند که مقدار آن بسیار کم و در حد چند قسمت در میلیون (ppm) است. بنابراین نشت مواد روغنی و سوخت ناشی از ماشین‌آلات بهره‌برداری به جریان آبراهه نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری در میزان عنصر کبالت داشته باشد. همچنین اختلاف معنی‌داری در میزان وزن رسوبات در عرصه بهره‌برداری نسبت به منطقه شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان عناصر فلزات سنگین در نقطه خروجی آب جوی از عرصه بهره‌برداری و کمترین میزان آن در نقطه ورود آب به عرصه بهره‌برداری در منطقه‌ای که کمترین میزان برداشت چوب صورت گرفته بود، مشاهده شد. بیشترین میزان متغیرهای سرب، نیکل، وانادیم، کروم، مس، کادمیم، آهن، کبالت، روی و میزان رسوبات به ترتیب ۰/۴۳۴، ۱/۴۴، ۳/۰۵۵۷، ۱/۶۴۰۴، ۱/۲۱۹۶، ۰/۰۳۷۱، ۵۸/۰۰۲، ۵/۱۴۸۶، ۱/۹۳۳۹ و ۲۱/۱۴۳۹ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان متغیرها در منطقه شاهد به ترتیب ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۳، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۰، ۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. تفاوت معنی‌دار بین عناصر موجود در نمودار شکل ۳ ارائه شده است. خروج چوب‌آلات در این پژوهش با استفاده از اسکیدر چرخ لاستیکی انجام شد. در هنگام عبور اسکیدر از جوی آب موجود در عرصه بهره‌برداری، به علت تماس بدنه اسکیدر با سطح آب، روغن و سوخت (گازوئیل) چسبیده به بدنه و اجزای اسکیدر به داخل آب نشت نموده و سبب آلوده شدن آب می‌گردد. روغن و سوخت چسبیده به اسکیدر می‌تواند ناشی از نقص فنی و عدم سرویس دوره‌ای اسکیدر و یا سوختگیری غیراصولی اسکیدر باشد. به دلیل شیب پروفیل طولی آبراهه و با حرکت آب از انتها به سمت ابتدای آبراهه که همان نقطه خروجی از عرصه بهره‌برداری می‌باشد، تمام رسوبات و فلزات سنگینی که وارد جریان آب شده‌اند، به نقطه خروجی رسیده و بیشترین میزان آلودگی را در بر می‌گیرند.

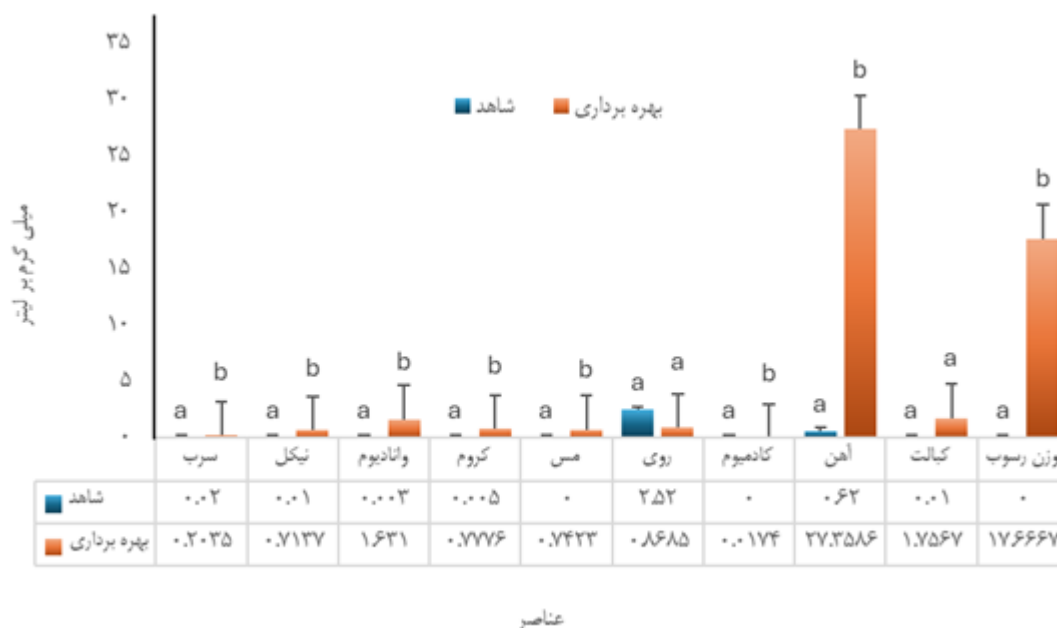
۳-۲. مقایسه آلودگی آب منطقه بهره‌برداری شده و منطقه شاهد

نتایج بررسی ویژگی‌های کیفیت آب در منطقه بهره‌برداری شده و منطقه شاهد نشان داد، عناصر کاهش کیفیت آب در تمامی موارد در منطقه بهره‌برداری شده بیشتر از منطقه شاهد است (جدول ۲ و شکل ۴). همچنین نتایج نشان داد که بین میزان

رسوبات دو منطقه شاهد و منطقه بهره‌برداری تفاوت معنی‌دار وجود دارد. این تفاوت معنی‌دار در میزان عناصر روی و کبالت مشاهده نشد (شکل ۲). روغن موتورها فاقد عنصر کبالت هستند و میزان عنصر روی در گازوییل بسیار ناچیز است. عدم تفاوت معنی‌دار در مقدار این عناصر می‌تواند ناشی از این موضوع باشد. نتایج نشان داد میزان دمای آب، pH، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول آب در منطقه بهره‌برداری با میزان این پارامترها در منطقه شاهد دارای اختلاف معنی‌داری است و با افزایش میزان بهره‌برداری و خروج چوب‌آلات از عرصه جنگلی و به‌دنبال آن حذف پوشش جنگلی، میزان آنها نیز افزایش می‌یابد و میزان این پارامترها پس از توقف بهره‌برداری به حالت قبل باز می‌گردد. یکی از عوامل که بر مقدار pH آب تأثیر می‌گذارد، ترکیب سنگ بستر و خاکی است که آب از طریق آن هم در بستر و هم در آب‌های زیرزمینی حرکت می‌کند. عبور ماشین‌آلات چوبکشی از بستر آبراهه‌ها و کشیدن چوب‌آلات و درختان افتاده در مسیر آبراهه سبب برهم خوردن ثبات بستر، تخریب خاک کف آبراهه و شستشو شدن آنیون‌ها و کاتیون‌های خاک می‌شود که این امر باعث افزایش فرسایش، رسوبات حمل شده و تغییرات در pH، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول به‌وسیله جریان می‌گردد. از دیگر عوامل مؤثر بر سطح pH آب، رشد گیاه و مواد آلی در بدنه آبی می‌باشد. با تجزیه مواد آلی، دی‌اکسیدکربن آزاد و پس از ترکیب با آب، تشکیل اسیدکربنیک می‌دهد [۷، ۹، ۱۱]. اگر چه اسید کربنیک ضعیف است، اما مقادیر زیاد آن می‌تواند باعث تغییر pH آب شود. بهره‌برداری با حذف تاج‌پوشش درختان از یک طرف در کوتاه‌مدت میزان مواد آلی قابل تجزیه ناشی از ضایعات قطع را افزایش و از طرف دیگر در بلند مدت میزان مواد آلی قابل تجزیه را کاهش می‌دهد و میزان pH و هدایت الکتریکی منابع آب را دستخوش تغییرات قرار می‌دهد.

جدول ۲. نتایج آزمون تی مستقل پارامترهای کیفیت آب

تست لون جهت مقایسه برابری واریانس‌ها		آزمون تی مستقل		۵ درصد سطح معنی‌داری	
F	معنی‌دار	تی	درجه آزادی	معنی‌دار	کران پایین / کران بالا
۱/۲۳۴	۰/۱۲۳	۲/۲۷۵	۲۵	۰/۰۳۲	۰/۳۴۹۶۵ / ۰/۰۱۷۴۰
		۴/۳۱۷	۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۹۴۸۴ / ۰/۲۷۲۲۰
۳/۰۷۶	۰/۰۸۳	۲/۸۱۶	۲۵	۰/۰۰۹	۰/۱۸۸۹۷ / ۱/۲۱۸۴۶
		۵/۳۴۲	۲۰	۰/۰۰۰	۰/۴۲۸۹۴ / ۰/۹۷۸۴۹
۱/۱۴۲	۲/۳۴۳	۳/۱۱۴	۲۵	۰/۰۰۵	۰/۵۵۱۲۷ / ۲/۷۰۴۶۴
		۵/۹۰۸	۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۳۲۱ / ۲/۲۰۲۷۰
۲/۶۲۹	۱/۱۲۲	۲/۶۲۳	۲۵	۰/۰۱۵	۰/۱۶۶۰۸ / ۱/۳۷۹۱۶
		۴/۹۷۸	۲۰	۰/۰۰۰	۰/۴۴۸۸۴ / ۱/۰۹۶۳۹
۰/۷۶۳	۰/۱۱۳	۳/۰۴۲	۲۵	۰/۰۵۵	۲/۷۶۹۵۳ / -۰/۵۳۳۴۲
		۲/۰۹۱	۲۵	۰/۰۸۴	۳/۶۰۸۰۴ / ۰/۳۰۵۰۹
۱۱/۴۷	۰/۲۳۱	۲/۷۸۳	۲۵	۰/۰۱۰	۷۲/۲۰۶۴۷ / ۴۸۳/۲۷۰۶۷
		۵/۲۸۱	۲۰	۰/۰۰۰	۱۶۸/۰۲۳۷۸ / ۳۸۷/۴۵۳۳۶
۱/۲۳۰	۰/۲۷۸	۰/۵۸۹	۲۵	۰/۵۶۱	۴/۳۶۰۸۴ / ۷/۸۵۴۱۷
		۱/۱۱۸	۲۰	۰/۲۷۷	۱۵/۵۱۳۵۷ / ۵/۰۰۶۹۰
۱/۹۴۹	۰/۲۷۲	۱۲/۴۵۷	۲۵	۰/۰۰۰	۱۴/۷۴۵۷۳ / ۲۰/۵۸۷۶۰
		۲۳/۶۳۵	۲۰	۰/۰۰۰	۱۶/۱۰۷۴۷ / ۱۹/۲۲۵۸۹



شکل ۴. نمودار ویژگی‌های توصیفی داده‌های کیفیت آب منطقه بهره‌برداری شده و شاهد

این نتایج با یافته‌های Sun و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد [۱۲]. حذف تاج‌پوشش درختی باعث افزایش تابش مستقیم آفتاب به سطح جریان آب شده و افزایش دمای جریان را در پی دارد. از طرف دیگر، وجود پوشش گیاهی در عرصه جنگلی سبب تعدیل هوا از طریق فتوسنتز و تبخیر و تعرق و به دنبال آن مانع از افزایش دمای محیط می‌شود که با حذف آن، این تعادل برهم خورده و باعث افزایش دمای جریان می‌شود. برداشت و حذف تاج‌پوشش درختان منطقه را گرم‌تر و سبب افزایش میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود که این امر سبب خارج شدن کاتیون‌های بیشتر از سیستم می‌شود [۱۱]. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان برداشت، وزن رسوبات معلق در جریان آبراهه افزایش می‌یابد (جدول ۲، شکل ۴). بهره‌برداری از جنگل یکی از عوامل اصلی تولید رسوب در آبراهه‌ها است. این عامل بیشتر در ارتباط با حرکت ماشین‌آلات چوبکشی در حمل‌ونقل اولیه و وسایل نقلیه بارگیری و باری در حمل‌ونقل ثانویه است [۱۳]. عمده اثرات کوتاه‌مدت برداشت چوب بر روی منابع آبی، ناشی از افزایش ورود رسوب به جریان‌ها یا افزایش نور ناشی از کاهش و یا حذف پوشش گیاهی رودخانه است [۱۴]. رسوبی که بر روی کف رودخانه مستقر شده و یا به آن نفوذ می‌کند، بیشتر از رسوب معلق است و می‌تواند منجر به تغییرات مضر دراز مدت در ماهی‌ها و جمعیت‌های بی‌مهرگان شود [۱۵]. این نتایج با یافته‌های پژوهش اتحادی ابری و همکاران (۲۰۱۷) همسو می‌باشد [۱۶].

برای مقایسه معنی‌داری داده‌های کیفیت آب در دو منطقه بهره‌برداری شده و شاهد از آزمون تی مستقل (t-test) استفاده شد. جدول ۲ نتایج آزمون تی مستقل را در دو حالت برابری و عدم برابری واریانس‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، مقادیر میانگین عناصر سرب، نیکل، وانادیوم، کروم، آهن و وزن رسوبات دارای اختلاف معنی‌دار در دو منطقه بهره‌برداری شده و شاهد است ولی در خصوص عناصر روی و کبالت اختلاف معنی‌دار نشان نداده نشد (جدول ۲). این تفاوت معنی‌دار ناشی از فعالیت ماشین‌آلات چوبکشی و برهم خوردن تعادل محیط‌زیستی است. روش جنگل‌شناسی در منطقه مورد مطالعه به صورت قطع یکسره بود و حرکت اسکیدر در تمام سطح پارسل و ترافیک بالای آن در عبور از عرض آبراهه امکان نشت مواد روغنی و سوخت را بیشتر می‌کند. از طرف دیگر، زیر و رو شدن خاک بستر آبراهه به واسطه چوبکشی، سبب شستشوی عناصر موجود در خاک و افزایش میزان محلول این متغیرها در آب می‌گردد. به دلیل تردد کم اسکیدر در بالاترین نقطه عرصه بهره‌برداری، میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده، کمتر بود ولی با نزدیک شدن به نقطه خروجی، به دلیل ترافیک بالای اسکیدر و با توجه به جریان آب تمام آلاینده‌ها به نقطه خروجی رسیده و میزان آلاینده‌ها و وزن رسوبات معلق افزایش می‌یابد. با توجه به احداث دپوی چوب‌آلات در نقطه خروجی، میزان حرکت اسکیدر بیشتر بوده و تخریب و فرسایش ناشی از آن تشدید می‌یابد (شکل ۴). برداشت از جنگل و

فعالیت‌های مرتبط با آن می‌تواند تغییراتی را در بازده آب حوزه، ورود مواد آلی و معدنی به منابع آب و دمای آن ایجاد کند. این تغییرات منجر به استرس‌هایی می‌شود که می‌توانند زیستگاه آبزیان، کیفیت آب و شبکه‌های غذایی منابع آب را تغییر دهند [۱۷]. عناصر سنگین به‌طور طبیعی در بوم سازگان‌ها وجود دارند و تعدادی از آنها در بقاء موجودات زنده نقش حیاتی دارند. اما در صورتی که غلظت آنها از حد معینی فراتر رود، ممکن است باعث تغییر در روند طبیعی بوم‌سازگان‌های آبی و عملکرد اندام‌های آبزیان شوند. بخشی از فلزات سنگین پس از ورود به محیط‌های آبی به‌صورت محلول در می‌آیند. مقداری از این فلزات نیز توسط پیوندهای سست سولفیدی و یا آلی به ذرات معلق متصل می‌شوند [۱۵، ۱۸]. ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در صورت ته‌نشین شدن به کف می‌رسند و به مرور در رسوبات تجمع می‌یابند. میزان تجمع فلزات به ساختار شیمیایی رسوبات، نوع ترکیبات موجود در آب، نرخ رسوب‌گذاری عناصر، شرایط فیزیکی و شیمیایی آنها (یونی و کمپلکسی) و همچنین ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی آب از نظر pH و مواد جامد محلول بستگی دارد [۱۸].

۳-۳. همبستگی پیرسون بین متغیرها

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین میزان بهره‌برداری چوب و متغیرهای وابسته دمای آب، pH، هدایت الکتریکی و مواد جامد آب همبستگی معنی‌داری وجود دارد. این همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ برای دمای آب و pH، منفی و برای هدایت الکتریکی و مواد جامد آب، مثبت مشاهده شد (جدول ۳)، یعنی با افزایش قطع درختان و خروج آن از عرصه جنگلی، میزان دمای آب، pH، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول در جریان آب تغییر می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که با قطع درختان و خروج از عرصه، میزان فلزات سنگین سرب، نیکل، وانادیم، کروم، مس، کادمیم، آهن، روی و میزان رسوبات افزایش می‌یابد. این تفاوت معنی‌دار برای عنصر کبالت مشاهده نشد (جدول ۴). با افزایش میزان برداشت، تردد ماشین‌آلات چوبکشی جهت خروج چوب‌آلات افزایش می‌یابد که سبب برهم خوردن تعادل آبراهه و نشت بیشتر فلزات سنگین به جریان می‌شود [۱۹].

جدول ۳. نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین برداشت و متغیرهای کیفی آب

مواد جامد	هدایت الکتریکی	pH	دمای آب	
**۰/۸۸	**۰/۸۱۳	**۰/۰۶۴۰	**۰/۵۵۴	همبستگی پیرسون
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	سطح معنی‌داری
۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	تعداد نمونه

همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. **

جدول ۴. نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین برداشت و میزان فلزات سنگین و رسوب

وزن رسوب	کبالت	آهن	کادمیم	روی	مس	کروم	وانادیم	نیکل	سرب	
۰/۸۶۸**	۰/۲۹۹**	۰/۹۳۶**	۰/۹۳۳**	۰/۸۷۶**	۰/۹۷۷**	۰/۹۵۵**	۰/۹۸۰**	۰/۹۲۴**	۰/۸۹۹**	همبستگی پیرسون برداشت
۰/۰۰۰	۰/۲۷۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	سطح معنی‌داری
۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	تعداد نمونه

همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. **

۳-۴. مدل رگرسیونی متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته

در این پژوهش، جهت پیش‌بینی روابط بین متغیر وابسته با استفاده از مقدار متغیرهای مستقل، از مدل رگرسیون خطی و لجستیک استفاده شد [۷، ۹]. نتایج مدل رگرسیونی متغیرهای وابسته به‌صورت جدول ۵ می‌باشد. در مدل رگرسیونی دمای آب، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول، فقط استحصال (میزان برداشت) از نظر آماری معنی‌دار بود و در معادله لحاظ شد، در حالی که در مدل رگرسیونی، pH، متغیرهای استحصال و وضعیت تاج‌پوشش معنی‌دار بود و در معادله نهایی لحاظ گردید. در معادله رگرسیونی نهایی، متغیر وضعیت تاج‌پوشش x_1 و میزان برداشت x_2 می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج مدل رگرسیونی متغیرهای مستقل برای هریک از متغیرهای وابسته

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد		معنی‌داری
	بی	انحراف معیار	بتا	تی	
ضربان قلب	ضریب	۱۸/۹۳۰	۵/۳۵۷	۳/۵۳۴	۰/۰۰۱
	استحصال	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-۶/۰۱۰	۰/۰۰۰
	پوشش وضعیت تاج	۰/۴۷۵	۰/۱۶۶	۲/۸۶۲	۰/۰۰۶
	طول روزنه	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۱/۰۴۹	۰/۲۹۸
pH	ضریب	۶/۸۶۱	۳/۵۹۰	۱/۹۱۱	۰/۰۶۰
	استحصال	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-۸/۲۶۹	۰/۰۰۰
	پوشش وضعیت تاج	۰/۵۵۵	۰/۱۱۱	۵/۰۰۷	۰/۰۰۰
	طول روزنه	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	-۱/۸۳۲	۰/۰۷۱
هدایت الکتریکی	ضریب	۱۹۳/۷۷۲	۲۳۸/۸۵۸	۰/۸۱۱	۰/۴۲۰
	استحصال	۰/۰۷۳	۰/۰۰۶	۱۱/۹۶۱	۰/۰۰۰
	پوشش وضعیت تاج	-۲/۷۴۲	۷/۴۱۴	-۰/۳۷۰	۰/۷۱۳
	طول روزنه	۰/۲۵۶	۰/۱۴۷	۱/۷۴۳	۰/۰۸۶
مواد جامد	ضریب	-۴۴/۹۱۳	۹۶/۰۵۳	-۰/۴۶۸	۰/۶۴۲
	استحصال	۰/۰۳۸	۰/۰۰۲	۱۵/۷۵۲	۰/۰۰۰
	پوشش وضعیت تاج	۱/۷۴۶	۲/۹۶۶	۰/۵۸۹	۰/۵۵۸
	طول روزنه	-۰/۰۹۴	۰/۰۵۹	-۱/۵۹۸	۰/۱۱۵

جدول ۶. معادله رگرسیونی نهایی متغیرهای وابسته

متغیر	معادله
دمای آب	$Y=18/930+0/475x1-0/001x2$
pH	$Y=0/555x1-0/001x2$
هدایت الکتریکی	$Y=0/073x2$
مواد جامد	$Y=0/38x2$

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

عملیات بهره‌برداری از جنگل بر کیفیت منابع آب تأثیر می‌گذارد. حذف پوشش گیاهی و استفاده از ماشین‌آلات چوبکش سبب تغییر در بوم سازگان شده و توازن آن را برهم می‌زند. این تغییرات به‌طور مستقیم و غیر مستقیم، کیفیت منابع آب را کاهش می‌دهد و حیات آبریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلوده شدن جریان آب به عناصر سنگین، باعث انتقال آن به مناطق پایین‌دست و نفوذ به آب‌بندان‌ها و اراضی زراعی می‌شود. جریان‌ات آبی با ورود به عرصه‌های کشاورزی، جهت تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین میزان فلزات سنگین در خروجی آبراهه از اهمیت بالایی برخوردار است که لزوم برنامه‌ریزی برای کنترل آنها ضروری می‌باشد. جهت کاهش تأثیر عملیات بهره‌برداری جنگل بر کیفیت منابع آب، باید اقدامات لازم برای کاهش اثرهای محیط‌زیستی و بهبود کیفیت رواناب انجام شود. اقداماتی از قبیل اعمال بهره‌برداری با دقت بیشتر و توسعه نواحی حفاظتی می‌تواند به‌طور مؤثری در حفاظت از خاک و کیفیت رواناب مؤثر واقع شود و بنابراین به‌منظور کاهش آلودگی رواناب و آب آبراهه‌ها، بهره‌برداری با شدت کمتر، در زمان مناسب و استفاده از ماشین‌آلات به‌روزتر پیشنهاد می‌شود. در زمان بهره‌برداری از جنگل و خروج چوب از پای‌کنده تا مسیر چوبکشی، از وینچ استفاده شود و تا حد امکان از مسیر چوبکشی خارج نشوند. طراحی مسیرهای چوبکشی به گونه‌ای باشد که تا حد امکان از آبراهه‌ها دور باشد و باعث تخریب بستر آبراهه نشود و از تردد ماشین‌آلات چوبکشی از بستر آبراهه و نواحی اطراف آبراهه اجتناب گردد. همچنین باید جایگاه مناسب جهت شستشو، سوختگیری و سرویس دوره‌ای ماشین‌آلات در نظر گرفته شود تا از نشت مواد روغنی جلوگیری شود.

۵- منابع

- [1] Shah, N.W., Baillie, B.R., Bishop, K., Ferraz, S., Högbom, L. & Nettles, J. (2022). The effects of forest management on water quality. *Forest Ecology & Management*, 522(2022), 120397.
- [2] Danehy, R.J. & Kirpes, B.J. (2000). Relative humidity gradients across riparian areas in Eastern Oregon and Washington forests. *Northwest Science*, 74(3), 224-233.
- [3] Ledwith, T. (1996). The effects of buffer strip width on air temperature and relative humidity in a stream riparian zone. *The Watershed Management Council*, 6(5), 107-119.
- [4] Davies-Colley R.J., Payne, G.W. & van Elswijk, M. (2000). Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology*, 24(2), 111-121.
- [5] Chen, Y.D., McCutcheon, S.C., Norton, D.J. & Nutter, W.L. (1998). Stream temperature Simulation of riparian Areas: II. Model application. *Journal of Environmental Engineering*, 124(4), 316- 328.
- [6] Gravelle, J.A. & Link, T.E. (2006). Influence of timber harvesting on headwater peak stream temperatures in a northern Idaho watershed. *Forest Science*, 53(2), 189-205.
- [7] Campbell, I.C. & Doega, T.J. (1989). Impact of timber harvesting and production on streams. *Marine and Freshwater Research*, 40(5): 519-39.
- [8] Koralay, N. & Kara, Ö. (2018). Forestry Activities and Surface Water Quality in a Rainfall Watershed. *European Journal of Forest Engineering*, 4(2), 70-82.
- [9] Gholamalizade, A., Soltani, J. & Shakeri Abdolmaleki, A. (1393). Measurement of some water quality parameters and heavy metal concentrations in Chah Nimeh 1 reservoir, Sistan and Baluchestan. *Journal of Soil & Water Conservation Research*, 21(3), 295-302.
- [10] Erdiwansyah, Gani, A., Desvita, H., Mahidin, Bahagia. Mamat, R.S.M. & Rosdi, S.M., (2025). Investigation of heavy metal concentrations for biocoke by using ICP-OES. *Results in Engineering*, 25(2025), 103717.
- [11] Brooks, Kenneth. N., Ffolliott, P.F. & Magner, J.A. (2013). Hydrology and the Management of Watersheds, Fourth editions. Published by John Wiley & Son, Inc. 3(5), 100-136.
- [12] Sun, G., Riedel, M., Jackson, R., Kolka, R., Amatya, D. & Shepard, J. (2004). Influences of management of Southern forests on water quantity and quality. Influences of Management of Southern Forests on Water Quantity and Quality. NC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 19(5). 195-234.
- [13] Ampoorter, E., Nevel, L., Vos, Van B. De Hermy, M. & Verheyen, K. (2010). Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. *Forest Ecology & Management*, 260(10), 1664-1676.
- [14] Johnson, S.L., (2004). Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 61(6):913-923.
- [15] Campbell, I.C. & Doega, T.J. (1989). Impact of timber harvesting and production on streams. *Marine & Freshwater Research*, 40(5), 519-39.
- [16] Etehad Abri, M., Majnonian, B., Malakian, A. & Jorgholami, M. (2017). Changes in runoff and sediment following changes in some soil characteristics due to forest exploitation operations: A case study of Kheyrud Forest. *Iranian Journal of Forest*, 70(3), 267-278. (In Persian)
- [17] Mariella H. J. Becu, M.H.J., Michalski, T.A. & Richardson, J.S. (2023). Forest harvesting impacts on small, temperate zone lakes: a review. *Environmental Reviews*, 31(3), 376-402.
- [18] Karsten, J., Gjengedal, E. & Mobbsa, H.J. (2008). Trace element exposure in the environment from MSW landfill leachate sediments measured by a sequential extraction technique. *Journal of Hazardous Materials* 153(1-2), 751-758.
- [19] Maqbool, F., Malik, A.H., Bhatti, Z.A., Pervez, A. & Suleman, M. (2012). Application of regression model on stream water quality parameters. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49(1), 95-100. (In Persian)