Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Effectiveness of watershed management measures on soil erosion and sediment yield reduction (Case study: Doholkooh Watershed, South Khorasan Province)

Mina Koohdarzi Moghaddam[1], Seyed Mahdi Taghipour*[2], Vajihe Erfani Pourghasemi[3]

[1] Graduated M.Sc. Student, Department of Geology, Sedimentary, Petrology, and Sedimentology, Faculty of Convergent Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran
[2] Ph.D. Candidate, Department of Watershed Management Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[3] Graduated M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Introduction
Decreased fertility, destruction of aggregates and erosion are the most common forms of soil degradation. Soil erosion is carried out by erosive agents, which remove the soil from its origin place. Among the measures to control unauthorized erosion are measures that prevent water erosion agents, which are called watershed management. Given the 60-year history of watershed management measures in the country, the evaluation of these measures has received less attention. The purpose of this study is to investigate watershed management measures to reduce erosion and sedimentation in Doholkooh Watershed.

Materials and Methods
Considering that before the implementation of watershed management measures, erosion and sedimentation of the study area was calculated using the Modified PSIAC (MPSIAC) model, in new studies for the accuracy of the work (evaluation of the executive effects on the rate of erosion and sedimentation), the same model (MPSIAC) was used. In this model, nine effective factors in erosion are considered, each of which has a score depending on its severity and weakness, and finally, by considering these scores, the amount of sediment in the area is considered.

Results and Discussion
The results showed that due to the implementation of watershed management plans, the average specific sedimentation of the watershed has increased from 6.7 to 5.18 t ha^{-1}. As a result, the average of special sedimentation at the watershed level has decreased and the area covered by the upper classes of special sedimentation has also been reduced. During the 11-year statistical period after the implementation of the project, the total erosion of Doholkooh Watershed was reduced from 28393.7 t y^{-1} to 16679.5 t y^{-1} (40% reduction) and the total sediment of the watershed was also reduced from 15647.6 t y^{-1} to 12103.5 t y^{-1} (21% reduction). During the implementation process in some sub-watersheds, confinement operations were not performed properly, in which the amount of litter decreased and the amount of bare soil increased, which resulted in a high volume of runoff in these sub-watersheds. Surface erosion has increased compared to the past and other areas have decreased.

Conclusion
Given that the purpose of watershed management operations is to stabilize the soil and provide suitable conditions for plant growth, the implementation of extensive biological operations and exclosure management in the basin had a positive effect on reducing erosion and sedimentation of the watershed and was able to prevent soil particles from separating slowly. Also, the soil particles that were separated from their place, after a path, finally, were collected inside the canals behind the constructed dams, and by accumulating sediments behind the constructed structures, its transfer to the canals was prevented.

Keywords: Biological measures, Mechanical measures, Modified PSIAC model, Sediment delivery ratio.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: sm.taghipour@ut.ac.ir

Citation: Koohdarzi Moghaddam, M., Taghipour, S.M., & Erfani Pourghasemi, V. (2022). Effectiveness of watershed management measures on soil erosion and sediment yield reduction (Case study: Doholkooh Watershed). *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 1-17.
DOI: 10.22098/mmws.2022.10282.1080
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.4.1.2

Received: 02 February 2022, Received in revised form: 30 March 2022, Accepted: 30 March 2022, Published online: 13 June 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 4, pp. 1-17

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili
© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز دهلکوه)

مینا کوهدرزی مقدم[۱]، سید مهدی تقی‌پور*[۲]، وجیهه عرفانی پورقاسمی[۳]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی- سنگ‌شناسی رسوبی و رسوب‌شناسی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

[۲] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۳] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

خاک در طی گذر زمان و تحت عوامل مختلف محیطی و انسانی دچار تغییرات و تخریب می‌شود که این تخریب به اشکال مختلفی اتفاق می‌افتد. کاهش حاصل‌خیزی، تخریب خاکدانه‌ها و فرسایش از جمله اشکال تخریب خاک است. از جمله راهکارهای مهار فرسایش، اقدامات آبخیزداری هستند که اثر عوامل فرسایش خاک را کاهش داده یا مهار می‌کنند. ارزیابی کمی پروژه‌های آبخیزداری به‌منظور ارزیابی اثرات آن‌ها و تصمیم‌گیری صحیح در اجرای بهینهٔ این‌گونه طرح‌ها در شرایط مشابه ضروری است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی پروژه‌های زیستی، مدیریتی و سازه‌ای و تأثیر آن‌ها بر میزان فرسایش و رسوب منطقهٔ دهلکوه بوده، تا بتوان موفقیت یا شکست طرح‌های صورت گرفته در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ را مشخص کرد. بدین‌منظور، روش و الگوی کار کاملاً مبتنی بر مطالعات گذشته قرار گرفت و پس از تهیهٔ آمار و اطلاعات مورد نیاز، فرسایش و رسوب‌دهی حوزهٔ آبخیز با استفاده از مدل MPSIAC محاسبه شد. نتایج مطالعات نشان داد که بر اثر اجرای طرح‌های آبخیزداری، در طول دورهٔ آماری ۱۱ ساله پس از اجرای طرح، فرسایش کل حوزهٔ آبخیز دهلکوه از ۲۸۳۹۳/۷ به ۱۶۶۷۹/۵ تن در سال (کاهش ۴۰ درصدی) و رسوب کل حوزهٔ آبخیز دهلکوه از ۱۵۶۴۷/۶ به ۱۲۱۰۳/۵ تن در سال (کاهش ۲۱ درصدی) تقلیل یافته است. نتایج حاکی از کارا بودن پروژه‌های آبخیزداری در کاهش رسوب‌دهی در منطقهٔ مورد مطالعه است. به‌گونه‌ای که میزان فرسایش در سطح حوزهٔ آبخیز تغییر چشم‌گیری داشته است.

واژه‌های کلیدی: اقدامات زیستی، اقدامات مکانیکی، مدل پسیاک اصلاح‌شده، نسبت تحویل رسوب

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sm.taghipour@ut.ac.ir

استناد: کوهدرزی مقدم، م.، تقی‌پور، س.م.، و عرفانی‌پور قاسمی، و. (۱۴۰۱). ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کاهش مقدار فرسایش و رسوب (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز دهلکوه، استان خراسان جنوبی). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۱-۱۷.

DOI: 10.22098/mmws.2022.10282.1080

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.4.1.2

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۴، صفحه ۱ تا ۱۷

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

منابع طبیعی مجموعه‌ای از خلقت است که قبل از آفرینش انسان وجود داشته و به‌صورت تجمعی و انبوه در مناطقی از کرهٔ زمین قرار گرفته است که انسان با استفاده از آن‌ها، نیازهای اصلی (خوراک، پوشاک، مسکن) خود را تأمین می‌کند. منابع طبیعی، در بهترین تقسیم‌بندی، به تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شده است. از جمله منابع طبیعی تجدیدپذیر خاک‌ها هستند که در طی میلیون‌ها سال از فعل و انفعالات موجودات مختلف روی کرهٔ زمین شامل سنگ‌ها، آب و هوا و گیاهان و جانوران ایجاد شده و تکامل یافته است. منشأ برخی از خاک‌ها، برجا و برخی دیگر نابرجا هستند. خاک‌ها نیز مانند هر موجود دیگری دچار تغییرات و تخریب می‌شوند. کاهش حاصل‌خیزی، تخریب خاکدانه‌ها و فرسایش از جمله معروف‌ترین اشکال تخریب خاک است. فرسایش خاک توسط عوامل فرسایش‌زا (آب یا باد و یا هر دو) صورت می‌گیرد و خاک را از محل اولیهٔ خود کنده و جابه‌جا می‌کند. مقدار فرسایش سالانهٔ کشور، ۸۹۵ میلیون تن (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) برآورد شده است (Arab Khedri, 2018). فرسایش زمانی می‌تواند به‌عنوان خطر قلمداد شود که از میزان خاک‌سازی و خاک‌زایی طبیعت بیش‌تر باشد که اگر این اتفاق بیفتد به آن فرسایش غیرمجاز می‌گویند. امروزه در سطح کرهٔ زمین با دخالت انسان در طبیعت مقدار فرسایش بیش از حد مجاز است. از جمله راهکارهای مهار فرسایش غیرمجاز، اقداماتی هستند که جلوی عوامل فرسایش‌زای آبی را می‌گیرند که به این اقدامات، آبخیزداری می‌گویند. در عرف اجرایی، بیش‌تر این اقدامات بر روی تقویت پوشش گیاهی در بالادست (زیستی) و مهار رواناب در مسیر آبراهه‌ها (مکانیکی) و یا تلفیقی از دو اقدام قبل (زیستی-مکانیکی) متمرکز است. ناگفته نماند که کلیهٔ عملیات زیستی با مقداری دخالت‌های مکانیکی همراه است و نمی‌توان عملیات‌های منجر به استقرار گیاه را زیستی صرف قلمداد کرد. به‌عبارت‌دیگر در اقدامات آبخیزداری عملیات زیستی وجود ندارد؛ بلکه کلیهٔ اقدامات، مکانیکی و زیستی-مکانیکی است. اصولاً هدف اصلی آبخیزداری، کاهش جریان شدید آب در پایین‌دست است، اما با مهار جریان آب با روش‌های گفته‌شده، مانع فرسایش خاک نیز می‌شود. به عبارت دیگر کاهش فرسایش از اهداف فرعی آبخیزداری است. در ایران سابقهٔ حفاظت خاک به سال ۱۳۴۰ برمی‌گردد (Ghaffari et al., 2015). اما ارزیابی این اقدامات با توجه به سابقهٔ حدوداً ۶۰ ساله، خیلی کم مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌گران مختلف با توجه به اهداف مطالعهٔ خود، ارزیابی این اقدامات را از جنبه‌های گوناگون مورد بررسی قرار داده‌اند.

در مطالعهٔ Wu et al. (2022) در منطقهٔ یاآن[1] استان شانشی چین برای بررسی اقدامات انجام‌شده با هدف کاهش فرسایش و رسوب، تیمارهای مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفته است. تیمارها شامل قطعاتی با شیب برهنه (CK[2]) و اقدامات معمول حفاظت از خاک و آب (SWC[3]) با سه قطعه، اقدامات مهندسی (گودال‌های مقیاس ماهی، FSPs[4])، اقدامات پوشش گیاهی (رویش چمن توسط یونجه، GR[5]) و اقدامات کشاورزی (مالچ‌پاشی کاه، SM[6]) بودند. نتایج نشان داد که شیوه‌های SWC به‌طور قابل‌توجهی ($P<0.05$) رواناب و هدررفت خاک را مهار می‌کنند.

Zhang et al. (2022) مطالعه‌ای را در منطقهٔ بالادست بازهٔ میانی رودخانهٔ زرد، تحت‌عنوان تأثیر سازه‌های اصلاحی بر مقدار بار رسوبی پس از اقدامات احیایی پوشش گیاهی با بررسی سری زمانی مقدار رسوب ورودی به ایستگاه هیدرومتری موجود در نقطهٔ خروجی حوزهٔ آبخیز از سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار بار رسوبی در طول سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۹ نسبت به مقدار بار رسوبی در طول سال‌های ۱۹۵۲ تا ۱۹۷۹، ۵۴/۸۴ درصد کاهش و در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نسبت به دورهٔ ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۹ مقدار بار رسوبی ۸۸/۸۰ درصد کاهش داشته است.

نتایج پژوهش Bagherian Kalat et al. (2022) نشان داد که مقدار فرسایش برآوردشدهٔ سالانهٔ خاک در حوزهٔ آبخیز کاخک به کمک مدل MPSIAC در اثر فعالیت‌های زیستی-مکانیکی و مکانیکی از حدود۲۰ تن در هکتار به حدود ۱۰ تن در هکتار معادل ۵۰ درصد کاهش یافته است. نتایج پژوهش (Bai et al., 2020) حاکی از آن است که پس از برآورد میزان فرسایش و منشأیابی رسوبات حاصل از فرسایش اراضی بالادست در فلات لسی چین در ۷ تا ۲۶ رگبار حدی، میزان کل فرسایش، ۴/۲۰ میلیون تن بوده که سازه‌های اصلاحی در بستر آبراهه به مقدار ۲۶/۳۶ درصد معادل ۱/۱۱ میلیون تن را در مخازن خود حفظ کرده‌اند. هم‌چنین، در همان منطقه (Yuan et al. 2019) پژوهشی را در خصوص تأثیر سازه‌های اصلاحی بر میزان رسوب خروجی از حوزه‌های آبخیز کوچک انجام دادند. ایشان پس از شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی حوزه‌های آبخیز کوچک مقدار فرسایش را برآورد کردند که نتایج آن پژوهش بیان می‌کند که مقدار رسوب خروجی از حوزهٔ آبخیز، ۸۳/۹۲ درصد کاهش داشته است. در پژوهشی که Parvizi et al. (2018) به‌منظور

[1] Ya'an
[2] Bare slope
[3] Soil and water conservation
[4] Fish-scale pits
[5] Grass revegetation by *alfalfa*
[6] Straw mulching

مقایسهٔ کمی اثر عملیات مکانیکی و زیستی در حوزهٔ آبخیز حاجی‌آباد کرمانشاه انجام دادند، مقدار فرسایش و رسوب را بر اساس مدل MPSIAC محاسبه کردند. نتایج پژوهش مشخص کرد که عملیات کپه‌کاری و بذرکاری درختان مثمر بادام و مو توانسته است ضمن افزایش ظرفیت تولید زی‌تودهٔ خشک مرتع به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، میزان فرسایش و رسوب را به‌ترتیب به‌میزان ۱۵ و ۸ درصد کاهش دهند. در مجموع اعمال عملیات مکانیکی آبخیزداری در کل حوزهٔ آبخیز توانست میزان فرسایش و تولید رسوب را در طول سه سال اجرا به‌میزان کم‌تر از یک درصد کاهش دهد. عامل اصلی کارایی پایین عملیات آبخیزداری، به‌ویژه عملیات مکانیکی، در حوزهٔ آبخیز یادشده کم بودن پتانسیل تولید رسوب و فرسایش بود. Darabi et al. (2018) در ارزیابی عملکرد پروژهٔ آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز سد سیوند استان فارس نشان دادند که در مدل MPSIAC، امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و فرسایش سطحی به‌ترتیب ۳۰/۷۷ و ۳۰/۵۱ درصد بیش‌ترین تأثیر و عامل پوشش زمین با ۱۵/۰۵ درصد کم‌ترین تأثیر را در کاهش ۲۱/۹۷ درصدی رسوب‌دهی داشته است. با توجه به معنادار بودن تغییرات رسوب‌دهی زیرحوزه‌های آبخیز در سطح ۰/۰۵، نتایج حاکی از کارا بودن پروژه‌های آبخیزداری در کاهش رسوب‌دهی بوده است.

در مطالعه‌ای که Ghaffari et al. (2017) برای بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر میزان فرسایش و رسوب حوزهٔ آبخیز کن به کمک تفسیر نمودار جرم مضاعف، مقایسهٔ هیدروگراف سالانه و تحلیل هیدرولوژیکی، بررسی میزان رسوب در دوره‌های خشک و مرطوب، رسم منحنی سنجهٔ رسوب، بررسی میزان رسوب در بارش‌های مشابه قبل و بعد از اجرای طرح انجام دادند، مشخص شد که عملیات آبخیزداری بر میزان رواناب و رسوب تأثیر مثبتی داشته است؛ به‌طوری‌که واکنش هیدرولوژیک نسبت به بارندگی باعث شده است که آرام‌تر شده و حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه رواناب کم‌تری تولید کند و در نهایت رسوب حاصل از رواناب نیز کاهش یابد، اما این کاهش معنادار نبوده است.

Mehrvarzmoghanloo (2014) پژوهشی را در رابطه با تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز چلان استان آذربایجان شرقی انجام داد. وی با برآورد مقدار فرسایش به کمک مدل MPSIAC در سال ۱۳۹۳ و مقایسهٔ آن با مقدار برآوردشده در سال ۱۳۷۲ نشان داد که متوسط پتانسیل فرسایشی از ۱۹۱۴ تن در کیلومترمربع در سال به ۱۴۷۰ تن در کیلومترمربع کاهش پیدا کرده و عملیات آبخیزداری در حدود ۴۴۴ تن در کیلومترمربع فرسایش را کاهش داده است.

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش مقدار فرسایش و رسوب‌دهی در حوزهٔ آبخیز دهلکوه است. علت انتخاب حوزهٔ آبخیز دهلکوه وجود اقدامات اجرایی در آن است. اقدامات اجرایی در حوزهٔ آبخیز دهلکوه از سال ۱۳۸۷ اجرایی شد و تا پایان سال ۱۳۹۳ ادامه یافت. ارزیابی موردنظر در سال ۱۳۹۹ صورت گرفته تا نسبت به قبل از اجرا (قبل از سال ۱۳۸۷) مقایسه صورت بگیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز دهلکوه با مساحت ۲۳۳۷ هکتار از لحاظ تقسیمات کشوری در استان خراسان جنوبی، شهرستان بیرجند، بخش مرکزی و دهستان حاجی‌آباد واقع شده است. موقعیت تقریبی حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. این منطقه در محدودهٔ جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۱ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۵ دقیقه و ۸۴ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه و ۱۹ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. حوزهٔ دهلکوه دارای تقسیمات نه‌گانهٔ هیدرولوژیک است و از نظر توپوگرافی جزء حوزه‌های آبخیز کوهستانی با حداقل ۱۵۷۹/۷ متر و حداکثر ۲۲۱۰ متر و میانگین ۱۷۸۹/۵ متر ارتفاع است. این حوزهٔ آبخیز با میانگین بارش ۱۵۸/۸ میلی‌متر در سال، متوسط درجهٔ حرارت ۱۲/۵ سانتی‌گراد و میانگین تبخیر و تعرق ۱۴۶۷ میلی‌متر در سال است. از نظر تقسیمات اقلیمی آمبرژه در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار گرفته است. در این حوزهٔ آبخیز جدا از اراضی صخره‌ای که در حاشیه‌های شرق و جنوب شرقی حوزه گسترده شده است در مجموع پنج تیپ گیاهی شناسایی شده است که در غالب تیپ‌ها گونهٔ کاهوی وحشی Lactuca مشترک بوده است (Hasebkaraji, 2004). جدول ۱ مقادیر عملیات اجرایی مختلف و شکل ۲ موقعیت آن‌ها را در سطح حوزهٔ آبخیز در طول سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ نشان می‌دهد.

۲-۲- روش پژوهش

با توجه به‌این‌که قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری، فرسایش و رسوب‌دهی حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه با استفاده از مدل اصلاح‌شدهٔ پسیاک[1] محاسبه شده بود (Hasebkaraji, 2004)، در مطالعات جدید نیز برای صحت کار (ارزیابی اثرات اجرایی بر میزان فرسایش و رسوب‌دهی)، از همان مدل اصلاح‌شدهٔ پسیاک استفاده شد. در این مدل نه عامل مؤثر در فرسایش مد نظر قرار می‌گیرد که هر یک از این عوامل نه‌گانه بسته به‌شدت و ضعف خود امتیازی را به خود اختصاص می‌دهند و در نهایت، با در نظر گرفتن این امتیازها میزان رسوب‌دهی مشخص خواهد شد. روش محاسبهٔ مقدار

[1]Modified Pacific South West International Agency Committee (MPSIAC)

عددی هر یک از عوامل مؤثر بر فرسایش در روش اصلاح‌شدهٔ پسیاک به شرح جدول ۲ است.

در پایان، پس از محاسبهٔ هر یک از عوامل فوق، پس از اجرای عملیات آبخیزداری، لایه‌های اطلاعاتی عوامل نه‌گانهٔ مؤثر بر فرسایش با استفاده از نرم‌افزار Arc Map تهیه و روی هم قرار داده شد و مجموع امتیازها محاسبه شد. مجموع امتیاز (R) برای هر نقطه با جمع نمودن امتیاز لایه مشخص شد و برای محاسبهٔ رسوب‌دهی بر حسب تن در هکتار از رابطهٔ (۱) که توسط Refahi (2015) ارائه شده است، استفاده شد:

$$Qs = 0.253e^{(0.036R)} \quad (۱)$$

که در آن، Qs میزان تولید رسوب (رسوب‌دهی) بر حسب تن در هکتار، e پایهٔ لگاریتم طبیعی و R مجموع امتیاز به‌دست‌آمده از روش MPSIAC است. در نهایت، با تهیهٔ نقشهٔ فرسایش و رسوب‌دهی ویژه و مقایسهٔ آن با قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، درباره میزان کارایی و تأثیر این عملیات بر فرسایش و رسوب‌دهی بحث صورت گرفت. در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده دربارهٔ دلایل کارایی و ناکارایی طرح بحث و بررسی شد.

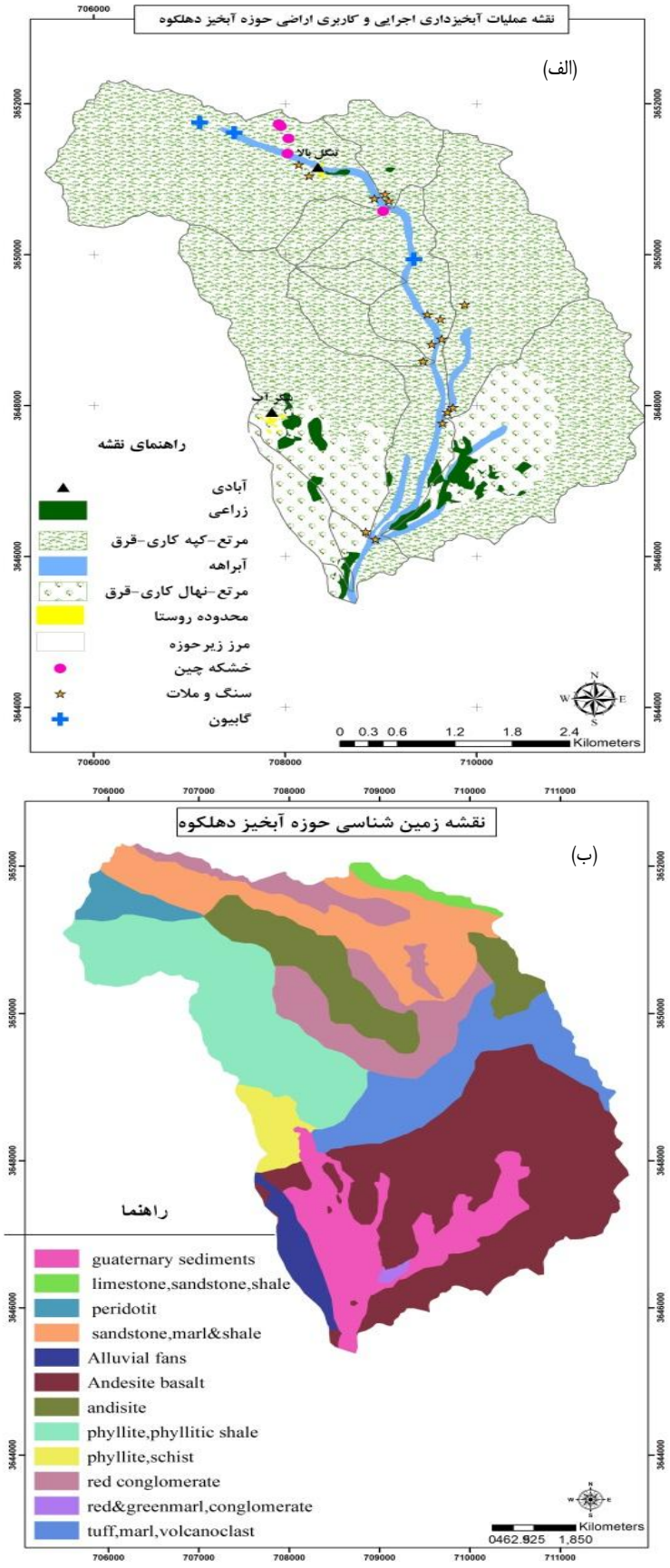
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 1- Geographical location of Doholkooh Watershed

جدول ۱- تعداد و وسعت عملیات مکانیکی، زیستی و مدیریتی اجرا شده

Table 1- Number and extent of mechanical, biological and managerial operations performed

	نوع عملیات	تعداد یا مساحت اجرا شده به هکتار
مکانیکی	سنگی-ملاتی	18
	گابیون	3
	خشکه‌چین	5
زیستی	کپه‌کاری	1300
	نهال‌کاری	1122
مدیریتی و حفاظتی	قرق	2422



شکل ۲- نقشه‌های کاربری اراضی و عملیات‌های آبخیزداری اجرا شده (الف) و زمین‌شناسی (ب) حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 2 - Land use plans and watershed management operations implemented (a) and geology (b) of Doholkooh Watershed

جدول ۲- توصیف و محاسبهٔ هر یک از عوامل مورد استفاده در MPSIAC (Refahi, 2015)

Table 2 - Description and calculation of each factor used in the MPSIAC (Refahi, 2015)

شماره	عامل موثر در فرسایش (با اصلاحات انجام‌شده)	ضریب اصلاح‌شده	شرح و تفسیر
1	زمین‌شناسی سطحی یا سنگ‌شناسی	Y1 = X1	در این عامل تغییری داده نشده است.
2	خاک	Y2 = 16.76 X2	X2 همان عامل فرسایش‌پذیری خاک در مدل USLE است.
3	آب و هوا (اقلیم)	Y3 = 0.2 X3	X3 عبارت است از بارندگی ۶ ساعته با دورهٔ بازگشت ۲ ساله
4	رواناب (جریان‌های سطحی)	Y4 = 0.006R+10 Qp	R ارتفاع رواناب سالانه به میلی‌متر و Qp دبی پیک ویژه بر حسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع
5	پستی و بلندی (توپوگرافی)	Y5 = 0.33X5	X5 عبارت است از شیب متوسط حوزهٔ آبخیز بر حسب درصد
6	پوشش سطح زمین	Y6 = 0.2 X6	X6 عبارت است از درصد خاک لخت (عاری از پوشش گیاهی و سنگریزه‌ای و بقایای گیاهی)
7	استفاده از زمین	Y7 = 20-0.2X7	X7 درصد تاج پوشش گیاهان است.
8	وضعیت فرسایش سطحی	Y8 = 0.25 X8	X8 وضعیت سطح خاک و فرسایش با استفاده از روش BLM
9	فرسایش رودخانه‌ای	Y9 = 0.167 X9	X9 عبارت است از فرسایش خندقی (گالی) و به‌ویژه خندق‌های ایجاد شده در مناطق کم‌شیب و مجاور رودخانه‌ها

امتیازدهی به هر عامل بر اساس روش Refahi (2015) و به کمک پژوهش‌های میدانی و استفاده از آمار و داده‌های موجود در ایستگاه‌های مجاور هواشناسی بوده است. امتیازات مربوط به خاک در طی مطالعات مربوط به خاک‌شناسی و ارزیابی تناسب اراضی منطقه پس از حفر پروفیل و نتایج آزمایشگاهی، عامل پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک برای هر اجزای واحد اراضی تعیین شد. با توجه به‌این‌که مرزبندی زیرحوزه‌های آبخیز با مرزبندی اجزای واحد اراضی هم‌خوانی نداشت، اطلاعات هر پروفیل خاک به‌صورت میانگین وزنی برای هر زیرحوزهٔ آبخیز تعیین شد. امتیاز مربوط به عامل آب و هوا از ایستگاه سینوپتیک بیرجند که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه است استفاده شد. امتیاز عامل رواناب نیز بر اساس مک مث[1] که با شرایط منطقه تناسب داشت استفاده شده است. شاخص پستی و بلندی منطقه با استفاده از DEM تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استخراج شد. شاخص پوشش زمین و استفاده از زمین نیز به کمک تصاویر ماهواره‌ای نرم‌افزار Google earth، بازدیدها و برداشت‌های میدانی به‌منظور اندازه‌گیری پوشش گیاهی و تصحیح اطلاعات ستادی در سطح عرصه استخراج شد. امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی نیز در گزارش سال ۱۳۸۳ بر اساس جدول امتیازدهی Refahi (2015) انجام شده بود و چون سازند زمین‌شناسی در طول این چند سال تغییری نداشته است امتیازات مربوط به آن ثابت باقی‌مانده است. کلیهٔ این روش‌ها در سال ۱۳۸۳ توسط شرکت Hasebkaraji (2004) انجام شده که به‌منظور بررسی اثربخشی اقدامات آبخیزداری، تمامی روش‌های ذکر شده در سال ۱۳۹۹ تکرار شد تا اصول مقایسه و بررسی اقدامات رعایت شود.

[1] Mc-Math

۳- نتایج و بحث

۳-۱- امتیاز زمین‌شناسی سطحی

بررسی امتیازات هر یک از واحدهای سنگ‌شناسی قبل و پس از اجرای عملیات نشان می‌دهد که امتیازات تغییری نکرده و ثابت بوده است؛ زیرا این عامل در مدل MPSIAC وابسته به نوع سنگ، سختی، شکستگی، هوازدگی و مقاومت واحدهای سنگی نسبت به فرسایش در منطقه است و اجرای عملیات تأثیر خاصی بر آن‌ها نگذاشته است (شکل ۳).

۳-۲- امتیاز خاک

همان‌گونه که از مجموع امتیازات عامل خاک‌شناسی نیز پیداست، این عامل قبل و پس از اجرای عملیات تغییراتی داشته است. از آن‌جا که مواد آلی از متغیرهای مؤثر بر عامل خاک‌شناسی است، تغییرات مقدار مواد آلی در پروفیل‌های خاک، عامل فرسایش‌پذیری را تغییر داده است. هرچه مقدار مواد آلی خاک بیش‌تر باشد، عامل فرسایش‌پذیری خاک (خاک‌شناسی) کم‌تر و فرسایش نیز کم‌تر خواهد شد. این تغییرات به‌دلیل مقداری افزایش پوشش گیاهی است که در سطح وسیع در محدودهٔ مورد بررسی انجام شده است (شکل ۳).

۳-۳- امتیاز اقلیم

بررسی داده‌های هواشناسی نشان داد که مقدار بارش شش ساعته با دورهٔ بازگشت دو ساله تغییری نداشته است (شکل ۴).

۳-۴- امتیاز رواناب

مقدار عامل رواناب در سطح حوزهٔ آبخیز تابع شرایط دامنه‌های موجود است. هر چه پوشش گیاهی متراکم‌تر باشد، رواناب کم‌تری تولید شده و فرسایش کم‌تری وجود خواهد داشت. با توجه به شرایط بعد از عملیات آبخیزداری کپه‌کاری، تراکم پوشش

گیاهان منطقه مقداری افزایش پیدا کرده و مقدار رواناب خروجی از هر حوزهٔ آبخیز و امتیاز مربوط به آن کم‌تر شده است (شکل ۴).

۳-۵- امتیاز پستی و بلندی

امتیاز عامل پستی و بلندی قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز دهلکوه، بر این عامل تأثیری نداشته است؛ زیرا این عامل نیز با توپوگرافی زمین و شیب منطقه مرتبط است (شکل ۵).

۳-۶- امتیاز پوشش زمین

در حوزهٔ آبخیز دهلکوه طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ بر اساس داده‌های ادارهٔ منابع طبیعی و اطلاعات موجود انجام عملیات کپه‌کاری به مساحت ۱۳۰۰ هکتار به‌منظور بهبود وضعیت و تولید مرتع از نوع گونه‌های گیاهی درمنهٔ کوهی، بادام کوهی (بادامشک) و بنه انجام شده است. هم‌چنین ۲۴۲۲ هکتار از مراتع عملیات مدیریت قرق در دستور کار قرارگرفته است که از این میزان، ۱۹۲۲ هکتار در مناطق کپه‌کاری و ۳۴۴ هکتار در نقاط و محدوده‌های دیگر در سطح مراتع منطقه انجام شده است. با تغییر در تراکم پوشش سطح زمین از مقدار اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی کاسته شده و امتیاز عامل پوشش زمین نیز کاسته خواهد شد (شکل ۵).

۳-۷- امتیاز کاربری اراضی

عامل نحوهٔ استفاده از اراضی در خصوص سطح پوشش گیاهی صدق می‌کند. به‌این‌ترتیب با توجه به افزایش تراکم پوشش گیاهی در طول سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ مقدار تراکم پوشش گیاهی بیش‌تر شده و سطح شامل اراضی فاقد پوشش گیاهی، توسط گیاهان پوشیده شد. بر همین اساس، سطح پوشش گیاهی منطقه افزایش یافته و امتیاز مربوط به آن کاهش پیدا کرده است (شکل ۶).

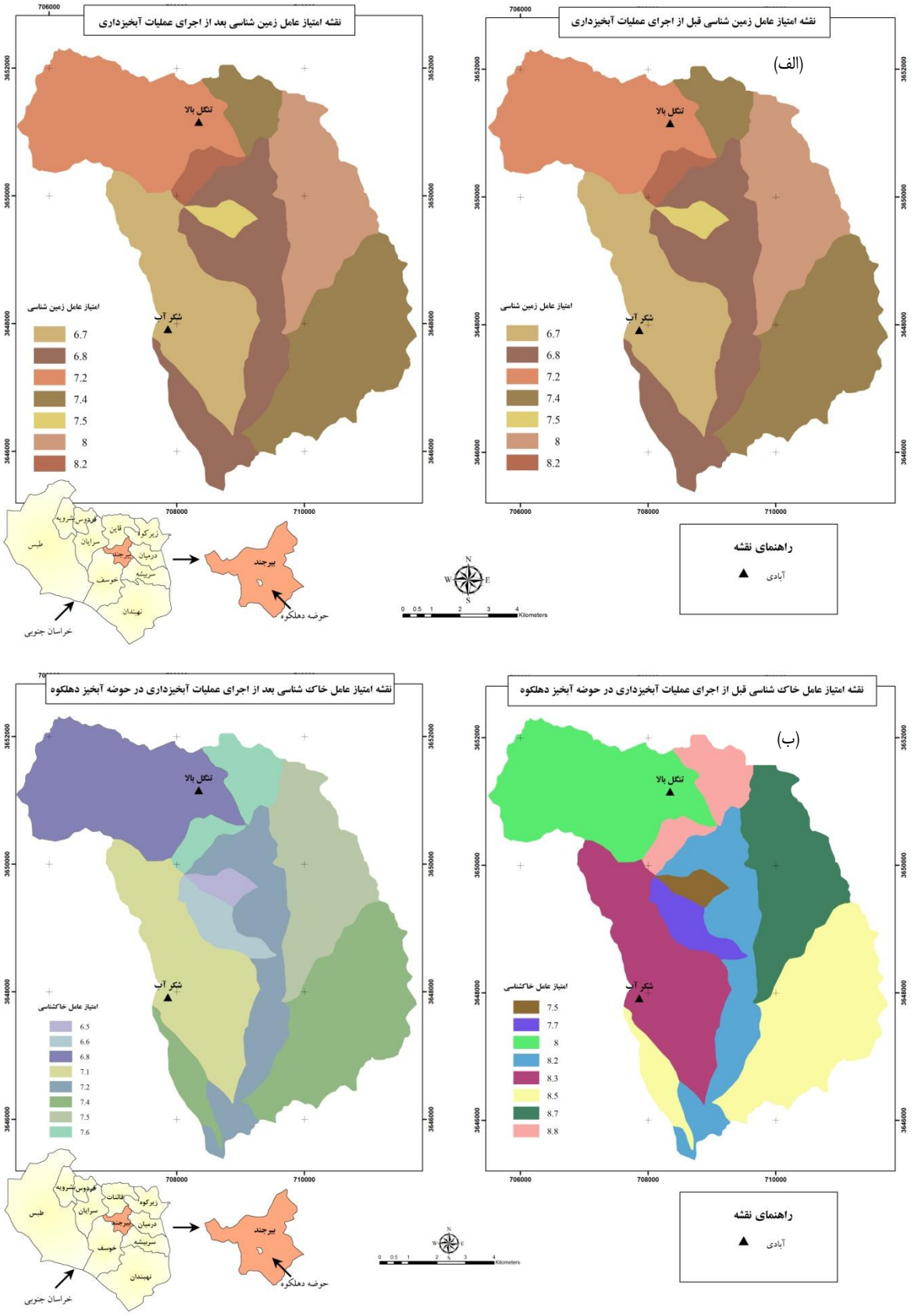
۳-۸- امتیاز فرسایش سطحی

عملیات گستردهٔ زیستی و مدیریت قرق تأثیر به‌سزایی در کاهش امتیاز این عامل در حوزهٔ آبخیز دهلکوه داشته است. در زیرحوزه‌های آبخیز شماره ۴، ۵ و ۶ اقدامات آبخیزداری نتوانسته امتیاز عامل فرسایش سطحی را کاهش دهد که در بحث به دلایل آن اشاره می‌شود (شکل ۶).

۳-۹- امتیاز فرسایش رودخانه‌ای

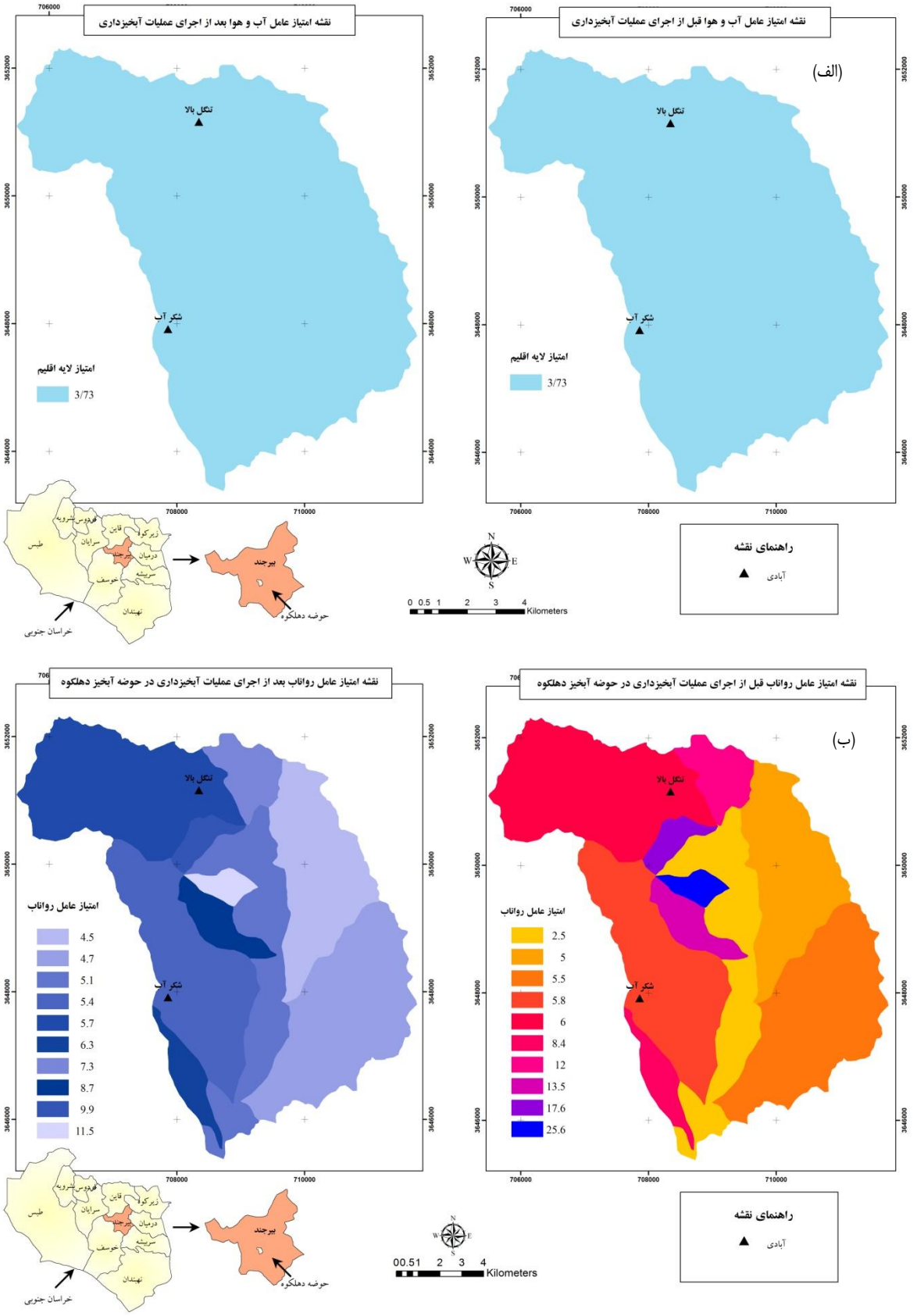
با توجه به اطلاعات دریافتی از کارفرمای محترم و پیرو بازدید انجام‌شده در کل حوزهٔ آبخیز دهلکوه بیرجند تعداد ۲۶ سازه در منطقه اجرا شده است. سازه‌های اصلاحی ایجاد شده در مسیر آبراهه‌ها باعث جمع‌آوری آب می‌شود و تقویت پوشش گیاهی مسیر آبراهه‌ها را در پی دارد. امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای نسبت به گذشته تغییر می‌کند. با ساخت سازه‌های مکانیکی در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ در مسیر آبراههٔ اصلی به‌منظور جمع‌آوری رواناب و پیش‌گیری از سیل‌های احتمالی، پوشش گیاهی متراکم‌تر شده است که این امر به افزایش پوشش گیاهی در نزدیکی سازه‌ها در مسیر آبراههٔ اصلی دلالت دارد. با افزایش پوشش گیاهی و تثبیت پروفیل طولی در مسیر آبراههٔ اصلی شکل فرسایش رودخانه‌ای کاهش‌یافته است؛ بنابراین، امتیاز عوامل وضعیت فرسایش رودخانه‌ای کاهش می‌یابد (شکل ۷). کلیهٔ نتایج فوق در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

در نهایت، پس از تهیهٔ نقشهٔ نه لایه مؤثر در امتیازدهی در روش MPSIAC قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری و با توجه به نقشه‌های پایهٔ در دسترس قبل از اجرای عملیات آبخیزداری و جمع‌کردن لایه‌ها و استفاده از فرمول نهایی، مقدار و نقشهٔ رسوب‌دهی ویژه قبل و بعد از اجرای عملیات به دست آمد. بر اثر اجرای عملیات آبخیزداری متوسط رسوب‌دهی ویژهٔ از ۶/۷ به ۵/۱۸ تن در هکتار رسیده است. در نتیجه، متوسط رسوب‌دهی ویژه کاهش یافته و از مساحت تحت پوشش کلاس‌های بالای رسوب‌دهی ویژه نیز کاسته شده است. نتایج بیش‌تر مربوط به تغییرات رسوب‌دهی در واحدهای کاری در جدول‌های ۵ و ۶ و شکل ۸ ارائه شده است. محاسبات گذشته بدون در نظر گرفتن حجم سازه‌های احداث‌شده بوده است. برای در نظر گرفتن حجم مهار شدهٔ رسوب‌دهی توسط سازه‌های احداث‌شده باید حجم مخزن سازه‌های احداث‌شده در هر واحد کاری را در نظر گرفت. در جدول ۷ حجم مخازن سازه‌های احداث‌شده ارائه شده است. بر اساس جدول ۷ مشخص می‌شود واحدهای کاری که سازه‌های اصلاحی در آن‌ها احداث نشده است هیچ رسوبی مهار نشده است و تمام رسوبات به واحدهای کاری بعدی منتقل شده است.



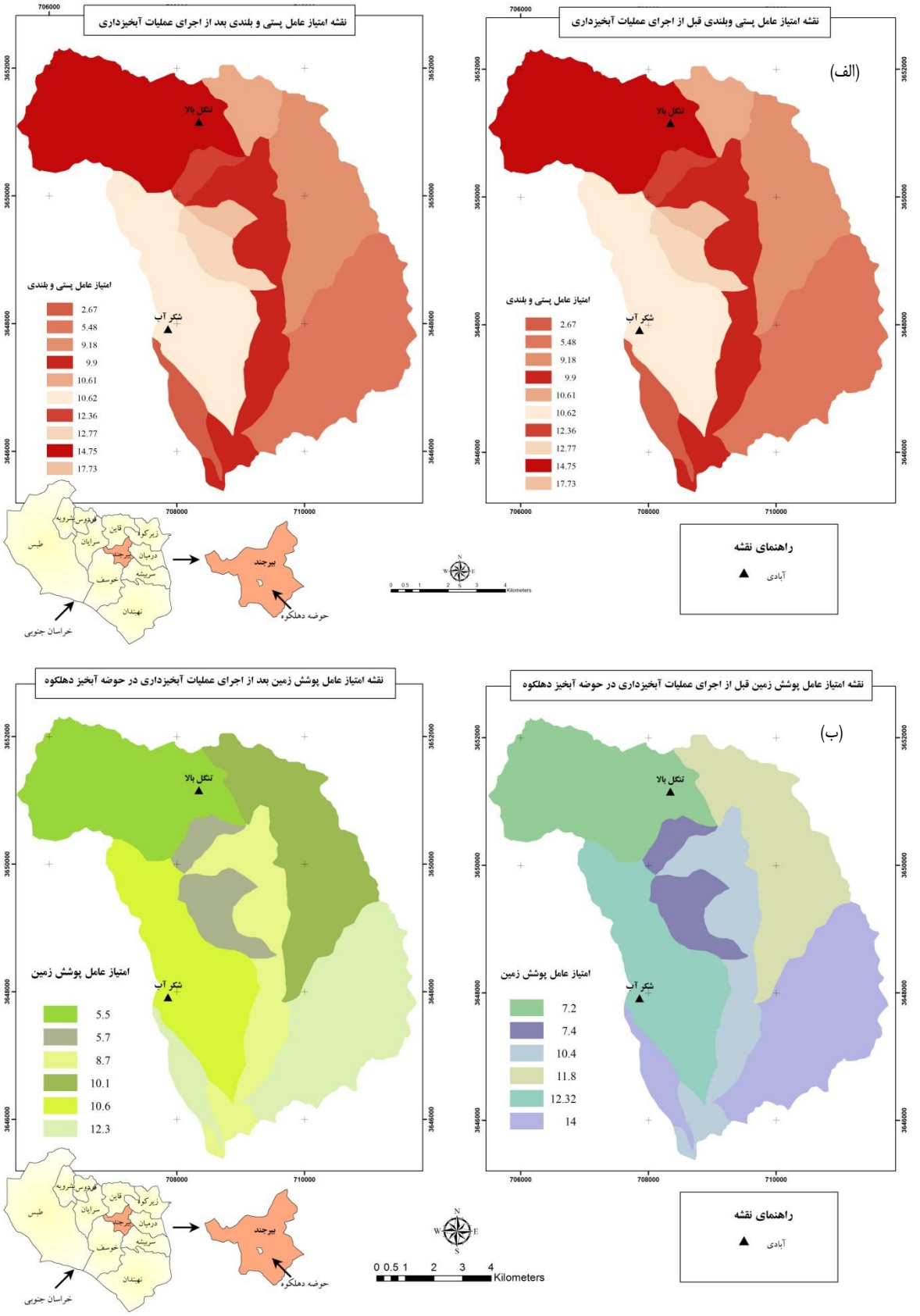
شکل ۳- نقشهٔ امتیاز زمین‌شناسی سطحی (الف) و خاک (ب) حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 3- Map of surface geology score (a) and soil score (b) of Doholkooh Watershed



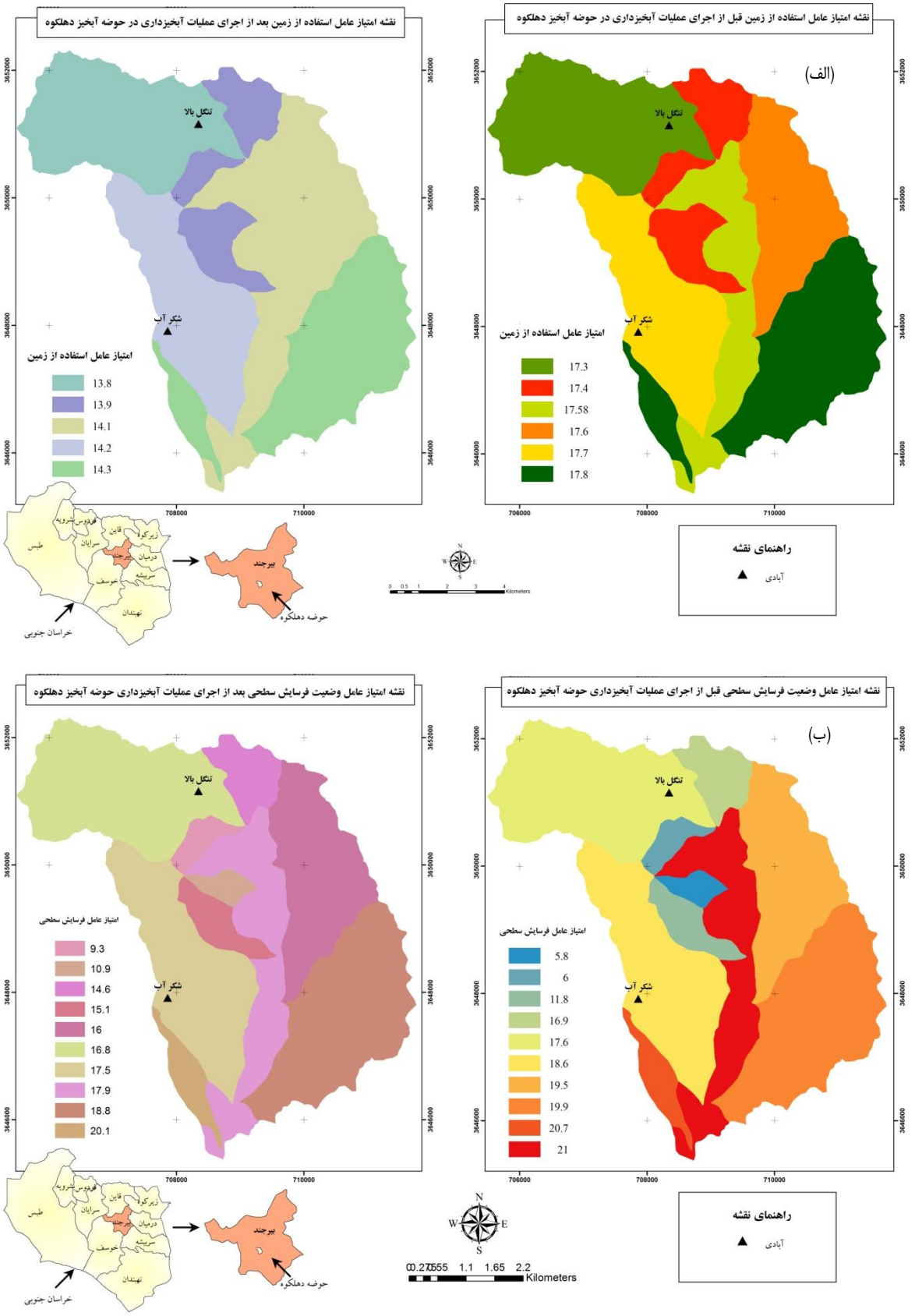
شکل ۴- نقشهٔ امتیاز اقلیم (الف) و رواناب (ب) حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 4- Map of Climate score (a) and Runoff score (b) of Doholkooh Watershed



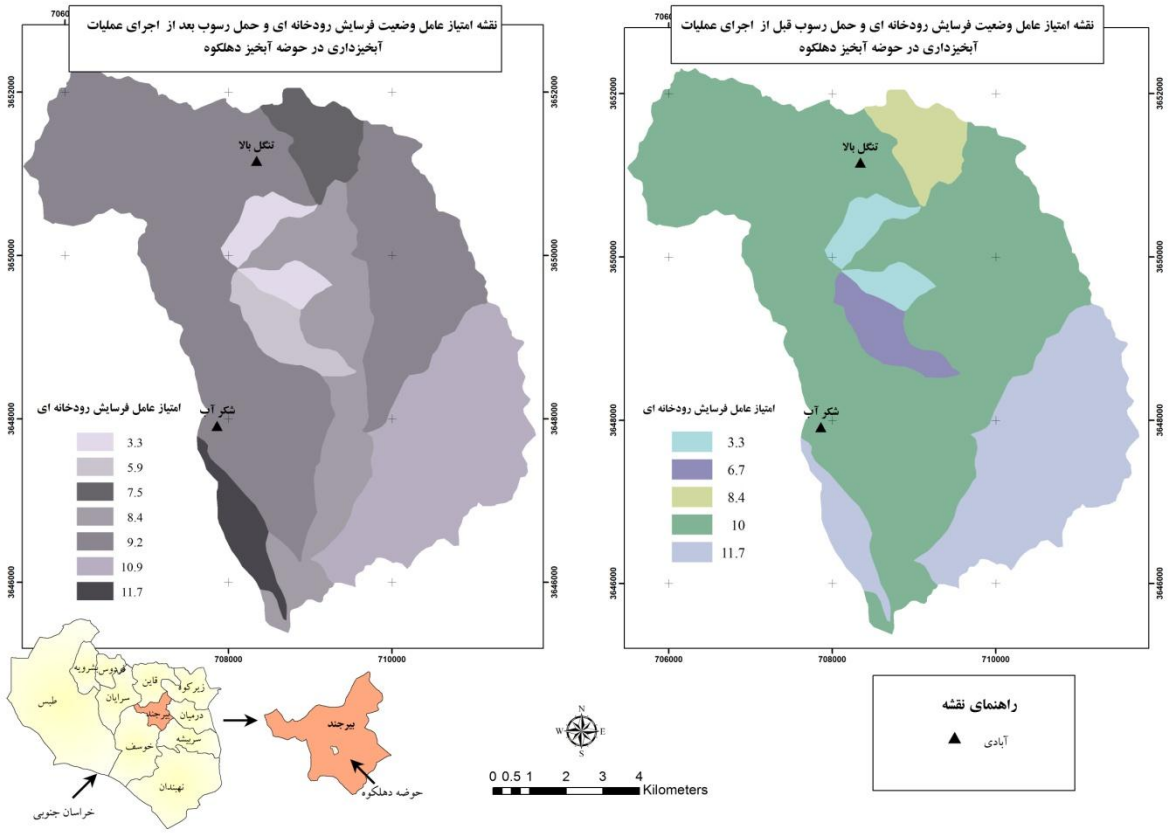
شکل ۵- نقشهٔ امتیاز توپوگرافی (الف) و پوشش زمین (ب) حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 5- Map of topography score (a) and land cover (b) of Doholkooh Watershed



شکل ۶- نقشهٔ امتیاز کاربری اراضی (الف) و فرسایش سطحی (ب) حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 6- Map of landuse score (a) and surface erosion score (b) of Doholkooh Watershed



شکل ۷- نقشهٔ امتیاز فرسایش رودخانه‌ای (خندقی) حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Figure 7- Map of river (gully) erosion score of Doholkooh Watershed

جدول ۳- امتیاز عوامل نه گانهٔ مدل MPSIAC قبل از اجرای عملیات آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز دهلکوه (Hasebkaraji, 2004)

Table 3- Score of 9 factors of MPSIAC model before the implementation of watershed management operations in Doholkooh Watershed (Hasebkaraji, 2004)

زیرحوزهٔ آبخیز	عامل زمین‌شناسی	عامل خاک	عامل آب و هوا	عامل رواناب	عامل پستی و بلندی	عامل پوشش زمین	عامل شیوه استفاده از زمین	عامل وضعیت فعلی فرسایش	عامل فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب
1	8.0	8.7	3.7	5	9.2	11.8	17.6	19.5	10.0
2	7.4	8.8	3.7	12	10.6	11.8	17.4	16.9	8.4
3	7.2	8.0	3.7	5.9	14.8	7.2	17.3	17.6	10.0
4	8.2	8.8	3.7	17.6	12.4	7.4	17.4	6.0	3.3
5	7.5	7.5	3.7	25.5	17.7	7.4	17.4	5.8	3.3
6	6.8	7.7	3.7	13.4	12.8	7.4	17.4	11.8	6.7
7	6.7	8.3	3.7	5.8	10.6	12.3	17.7	18.6	10.0
8	6.8	8.5	3.7	8.4	2.7	14.0	17.8	20.7	11.7
9	7.4	8.5	3.7	5.5	5.5	14.0	17.8	19.9	11.7
مرکزی	6.8	8.2	3.7	2.5	9.9	10.4	17.6	21.0	10.0

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات نشان داد که بر اثر اجرای طرح‌های آبخیزداری، در طول دورهٔ آماری ۱۱ ساله بعد از اجرای طرح، فرسایش کل حوزهٔ آبخیز دهلکوه از ۲۸۳۹۳/۷ تن در سال به ۱۶۶۷۹/۵ تن در سال (کاهش ۴۰ درصدی) و رسوب کل حوزهٔ آبخیز دهلکوه از ۶ /۱۵۶۴۷ تن در سال به ۱۲۱۰۳/۵ تن در سال (کاهش ۲۱ درصدی) تقلیل یافته است.

در روند اجرا در برخی از زیرحوزه‌های آبخیز، عملیات قرق (مطابق با پرسش‌نامهٔ تهیه‌شده) به‌درستی انجام نشده است که در این زیرحوزه‌های آبخیز (۴، ۵ و ۶) درصد خاک لخت افزایش داشته است. با توجه به شرایط طبیعی سه زیرحوزهٔ آبخیز ۴، ۵ و ۶ (بالا بودن شیب حوزهٔ آبخیز و شیب رودخانه) و هم‌چنین نتایج حاصل از ترانسکت‌های خطی مبنی بر بالا رفتن درصد خاک

جدول ۴- امتیاز عوامل نه گانهٔ مدل MPSIAC پس از اجرای عملیات آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز دهلکوه

Table 4- Score of 9 factors of MPSIAC model after the implementation of watershed management operations in Doholkooh Watershed

زیرحوزهٔ آبخیز	عامل زمین‌شناسی	عامل خاک	عامل آب و هوا	عامل رواناب	عامل پستی و بلندی	عامل پوشش زمین	عامل شیوه استفاده از زمین	عامل وضعیت فعلی فرسایش	عامل فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب
1	8.0	7.5	3.7	4.5	9.2	10.1	14.1	16.0	9.2
2	7.4	7.6	3.7	7.3	10.6	10.1	13.9	14.6	7.5
3	7.2	6.8	3.7	5.7	14.8	5.5	13.8	16.8	9.2
4	8.2	7.6	3.7	9.9	12.4	5.7	13.9	9.3	3.3
5	7.5	6.5	3.7	11.5	17.7	5.7	13.9	10.9	3.3
6	6.8	6.6	3.7	8.7	12.8	5.7	13.9	15.1	5.9
7	6.7	7.1	3.7	5.4	10.6	10.6	14.2	17.5	9.2
8	6.8	7.4	3.7	6.3	2.7	12.3	14.3	20.1	11.7
9	7.4	7.4	3.7	4.7	5.5	12.3	14.3	18.8	10.9
مرکزی	6.8	7.2	3.7	5.1	9.9	8.7	14.1	17.9	8.4

جدول ۵- کمیت‌های رسوب‌دهی و فرسایش در واحدهای کاری (قبل از اقدامات آبخیزداری) (Hasebkaraji, 2004)

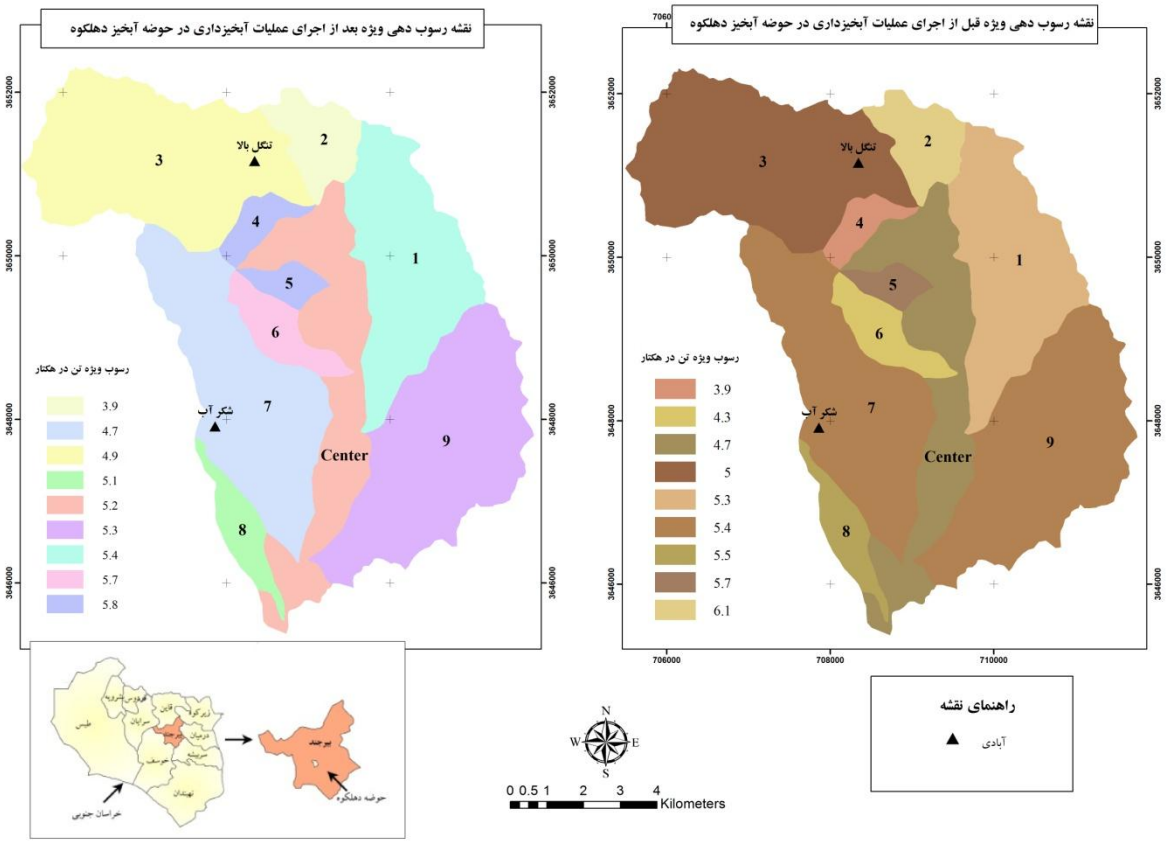
Table 5 - Sedimentation and erosion quantities in work units (before watershed management measures (Hasebkaraji, 2004)

زیرحوزهٔ آبخیز	رسوب‌دهی ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب‌دهی کل (تن در هکتار)	نسبت تحویل رسوب (SDR)	فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)
1	7.47	2584.53	1.4	10.34	3576.27
2	8.55	803.65	1.4	9.83	924.28
3	7.10	3444.98	1.4	10.31	5000.91
4	5.53	237.82	1.4	5.69	244.78
5	8.08	282.80	1.4	8.24	288.57
6	6.14	454.32	1.4	6.83	505.07
7	7.63	3135.06	1.4	10.82	4445.34
8	7.74	503.03	1.4	8.45	549.03
9	7.67	3544.15	1.4	11.06	5109.52
مرکزی	6.70	2162.67	1.4	12.15	3924.23
کل	6.70	15647.6	1.4	12.10	28393.7

جدول ۶- کمیت‌های رسوب‌دهی و فرسایش در واحدهای کاری بدون در نظر گرفتن حجم سازه‌ها (بعد از اقدامات آبخیزداری)

Table 6- Quantities of sedimentation and erosion in work units without considering the volume of structures (after watershed management measures)

زیرحوزهٔ آبخیز	رسوب‌دهی ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب‌دهی کل (تن در هکتار)	نسبت تحویل رسوب (SDR)	فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)
1	5.00	1728.50	1.4	6.99	2419.90
2	5.08	477.30	1.4	7.11	668.22
3	5.20	2522.30	1.4	7.28	3531.22
4	3.70	159.10	1.4	5.18	222.74
5	4.72	165.20	1.4	6.61	231.28
6	4.47	330.90	1.4	6.26	463.26
7	5.52	2267.00	1.4	7.72	3173.80
8	5.57	361.80	1.4	7.79	506.52
9	5.49	2538.30	1.4	7.69	3553.62
مرکزی	4.89	1578.60	1.4	6.85	2210.04
کل	5.18	12103.5	1.4	7.14	16679.5



شکل ۸- نقشهٔ مقدار رسوب‌دهی ویژه قبل و پس از اجرای عملیات آبخیزداری

Figure 8- Map of specific sedimentation amount before and after watershed management operations

جدول ۷- مقدار کنترل رسوب‌دهی در واحدهای کاری با در نظر گرفتن حجم سازه‌ها (بعد از اقدامات آبخیزداری)

Table7- The amount of sediment control in work units taking into account the volume of structures (after watershed management measures)

زیرحوزهٔ آبخیز	رسوب‌دهی کل (تن در سال)	حجم مخازن سازه‌های احداث‌شده (تن)	مقدار ظرفیت باقی‌مانده از سازه برای مهار رسوبات (تن)
1	1728.50	0	-1728.50
2	477.30	798	320.70
3	2522.30	22344	19821.70
4	159.10	2100	1940.90
5	165.20	0	-165.20
6	330.90	2940	2609.10
7	2267.00	0	-2267.00
8	361.80	0	-361.80
9	2538.30	0	-2538.30
مرکزی	1578.60	10696	9117.40
کل	12103.5	38878	26774.50

لخت و کاهش لاشبرگ به‌دلیل حجم بالای رواناب، امتیاز فرسایش سطحی این زیرحوزه‌های آبخیز نسبت به گذشته افزایش یافته است و سایر زیرحوزه‌های آبخیز روند کاهشی داشته‌اند. لازم به ذکر است در این سه زیرحوزهٔ آبخیز اگر به‌جای تمرکز بر عملیات زیستی و مدیریت فرق، عملیات اجرای سازه انجام می‌گرفت کاهش چشم‌گیر رسوب‌دهی را می‌توان انتظار داشت؛ چرا که در حوزه‌های آبخیز کشیده با وسعت کم و شیب زیاد کارایی سازه بیش‌تر از عملیات زیستی است.

در برخی از واحدهای کاری که سازه‌ای احداث نشده است، کلیهٔ رسوبات خارج‌شده از آن‌ها به واحدهای کاری پایین‌دست منتقل می‌شود. با توجه به‌این‌که مقدار رسوب‌دهی هر واحد کاری بر اساس فرمول اصلاح‌شدهٔ پسیاک، بر اساس درجهٔ رسوب‌دهی است مشخص نیست که چند درصد از رسوبات خارج‌شده از واحدهای کاری فاقد سازه، در رسوب‌دهی واحدهای کاری پایین‌دست تأثیرگذار است. به‌عبارت‌دیگر مشخص نیست در زیرحوزهٔ آبخیزی که مقداری رسوب از بالادست وارد آن می‌شود، آیا همین رسوبات از همین حوزهٔ آبخیز خارج می‌شود یا خیر؟

جواب این سؤال در پژوهش‌های مختلفی تحت‌عنوان منشأیابی رسوبات به آن پرداخته شده است. به‌عنوان‌مثال، در پژوهش Nosrati (2012) که به بررسی منشأیابی رسوبات در حوزهٔ آبخیز زیدشت با استفاده از ردیاب‌ها و مدل عدم قطعیت پرداخته است، مشخص گردید که در نمونه‌های مختلف برداشت‌شده، مقدار متفاوتی از ردیاب‌های مختلف مشاهده شده است. به‌دلیل این‌که منشأیابی رسوبات و مقدار حجم آن‌ها در حوزهٔ آبخیز دهلکوه خود پژوهش دیگری را می‌طلبد. در این بخش مشخص می‌شود که مدل اصلاح‌شدهٔ پسیاک در این خصوص کارایی کافی ندارد و نمی‌تواند تأثیر رسوب‌دهی واحدهای کاری بالادست را بر میزان رسوب‌دهی واحدهای کاری پایین‌دست در نظر بگیرد. به‌طورکلی چون در مدل اصلاح‌شدهٔ پسیاک، نسبت تحویل رسوب، بر اساس مساحت و نوع بافت خاک است، به نظر می‌آید که مقدار رسوب‌دهی واحدهای کاری پایین‌دست در صورت ورود رسوبات از بالادست، متغیر از حالتی باشد که رسوبات ورودی به واحد مورد مطالعه در نظر گرفته نمی‌شود. چرا که رسوبات ورودی بافت، وزن مخصوص و شکل ظاهری متفاوتی دارند و در برابر عوامل فرسایشی، واکنش متفاوتی دارند. هم‌چنین ذرات خاکی که از محل خود جدا شده بودند نیز پس از طی مسیری، نهایتاً، در داخل آبراهه‌ها در پشت‌بندهای احداث‌شده جمع شدند و با انباشت رسوبات در پشت سازه‌های احداث‌شده از انتقال آن به داخل آبراهه‌ها جلوگیری شده است. در مجموع، می‌توان اظهار کرد با توجه به این‌که هدف از اجرای عملیات آبخیزداری تثبیت خاک و فراهم کردن شرایط مناسب برای رشد گیاهان است نه انباشت رسوبات در پشت سازه‌ها، اجرای عملیات زیستی گسترده و مدیریت قرق در حوزهٔ آبخیز تأثیر مثبتی در کاهش فرسایش داشته است.

به نظر می‌رسد که به مشخصات فیزیوگرافی حوزهٔ آبخیز برای اجرای عملیات آبخیزداری باید بیش‌تر توجه شود؛ به عبارت دیگر بهتر است در زیرحوزه‌های آبخیز کشیده با شیب زیاد و وسعت کم به ایجاد سازه پرداخته شود؛ چرا که در حوزه‌های آبخیزی با این خصوصیات عملیات زیستی کارایی چندانی ندارد و با توجه به سرعت زیاد خروج رواناب، توانایی نگهداشت ذرات خاک کاهش می‌یابد. (Parvizi et al. 2018) در پژوهش خود مبنی بر تأثیر عملیات‌های آبخیزداری بر کاهش میزان فرسایش و رسوب نتیجه گرفتند که کپه‌کاری و نهال‌کاری بر مقدار کاهش مقدار فرسایش و رسوب به میزان ۱۵/۸ درصد بوده است، ولی سازه‌های احداث‌شده نتوانستند مقدار رسوب‌دهی را کاهش دهند. هم‌چنین در پژوهش Ghaffari et al. (2017) در خصوص تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز کن، مشخص شد که عملیات آبخیزداری بر میزان بار معلق تأثیر معناداری داشته است، اما در کاهش فرسایش تأثیر معناداری نداشته است؛ چون‌که عملیات آبخیزداری در حوزهٔ مذکور فقط بر روی سازه‌های مکانیکی متمرکز بوده است و از عملیات زیستی غافل شده‌اند. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های فوق هماهنگ بوده و مطابقت دارد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های ذکرشده و مقایسهٔ آن با پژوهش حاضر در خصوص تأثیر عملیات زیستی و مکانیکی بر کاهش فرسایش و رسوب می‌توان نتیجه گرفت که اقدامات زیستی از اولویت بیش‌تری نسبت به عملیات مکانیکی برخوردار است؛ چرا که افزایش پوشش گیاهی مرحلهٔ اول تخریب خاک (فرسایش) را مهار کرده، اما اقدامات مکانیکی بر رسوب‌دهی تأثیرگذار است. نتایج پژوهش‌های ذکرشده با نتایج پژوهش حاضر از نظر زیستی و مکانیکی سازگار است.

سپاسگزاری

از همکاری و مساعدت کارشناسان محترم ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی در انجام مراحل مختلف پژوهش، از جمله در اختیار قرار دادن داده، بازدیدهای میدانی، تکمیل پرسش‌نامه و قرار دادن امکانات از قبیل اسکان و تأمین مالی برای تکمیل پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

باقریان کلات، ع.، لشکری پور، غ.، و غفوری، م. (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و میزان فرسایش و رسوب در حوزهٔ آبخیز کاخک. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۳(۷)، ۵۱-۶۳.

پرویزی، ی.، بیات، ر.، حشمتی، م.، و قیطوری، م. (۱۳۹۷). مقایسهٔ کمّی اثر عملیات مکانیکی و زیستی آبخیزداری در مهار فرسایش و رسوب حوزهٔ آبخیز حاجی‌آباد کرمانشاه. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۲(۴۲)، ۵۲-۵۹.

دارابی، م.، قره‌داغی، ح.، و نجابت، م. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبخیزداری بر میزان فرسایش و حمل رسوب در حوزهٔ آبخیز سد سیوند، استان فارس. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۴، ۱۹۹-۲۱۸.

رفاهی، ح. (۱۳۹۸). فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۲ صفحه.

شرکت مهندسی مشاور حاسب کرجی، (۱۳۸۳). مطالعات تفصیلی-اجرایی حوزهٔ آبخیز دهلکوه. گزارش فرسایش و رسوب.

عرب خدری، م.، شادفر، ص.، جعفری اردکانی، ع.، بیات، ر.، خواجوی، ا.، مهدیان.، م، ح. (۱۳۹۷). تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران. *پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۳۱(۱۲۰)، ۱۳-۲۷.

غفاری، گ.، احمدی، ح.، بهمنی، ا.، و نظری سامانی، ع.ا. (۱۳۹۴). ارزیابی اثر طرح آبخیزداری حوزهٔ آبخیز کن بر میزان فرسایش و رسوب. *مرتع و آبخیزداری*، ۶۸(۳)، ۶۰۷-۶۲۴.

غفاری، گ.، احمدی، ح.، بهمنی، ا.، و نظری سامانی، ع.ا. (۱۳۹۶). بررسی عملکرد اقدامات آبخیزداری در حوزهٔ آبخیز کن‌سولقان. *مرتع و آبخیزداری*، ۷۰(۱)، ۱۶۹-۱۸۰.

مهرورزمغانلو، ک. (۱۳۹۳). ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر کاهش میزان فرسایش و رسوب در زیرحوزهٔ چلان. دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، دانشگاه تهران.

نصرتی، ک. (۱۳۹۰). منشأیابی رسوب بر اساس عدم قطعیت. *پژوهش آب ایران*، ۹، ۵۱-۶۰.

References

Arab Khedri, M., Shadfar, S., Jafari Ardakani, A., Bayat, R., Khajavi, A., Mahdian., M. H. (1397). Investigation of water erosion in Iran. *Journal of Watershed Management Research (Research and Construction)*, 31 (120), 13-27 (in Persion).

Bagherian Kalat, A., Lashkaripour, G., & Ghafouri, M. (2021). Assessing the impact of watershed management measures on vegetation and erosion and sedimentation in Kakhk watershed. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(7), 51-63 (in Persion).

Bai, L., Wang, N., Jiao, J., Chen, Y., Tang, B., Wang, H., Chen, Y., Yan, X., & Wang, Z. (2020). Soil erosion and sediment interception by check dams in a watershed for an extreme rainstorm on the Loess Plateau, China. *International Journal of Sediment Research*, 35(4), 408-416.

Darabi, H.M., Qaradaghi, H., & Najabat, H.M. (2018). Evaluation of performance of watershed management projects on the rate of erosion and sedimentation in the watershed of Sivand Dam, Fars province. *Hydrogeomorphology*, 14, 199-218 (in Persion).

Ghaffari, G., Ahmadi, H., Bahmani, A., & Nazari Samani, A.A. (2015). Evaluation of the effect of watershed management plan of the watershed on the rate of erosion and sediment. *Rangeland and Watershed Management*, 68(3), 607-624 (in Persion).

Ghaffari, G., Ahmadi, H., Bahmani, A., & Nazari Samani, A.A. (2017). Investigating the performance of watershed management measures in Kan-Sulqan Watershed. *Rangeland and Watershed Management*, 70(1), 169-180 (in Persion).

Haseb Karaji Consulting Engineering Company, (2004). Detailed-Executive Studies of Dehlkuh Watershed. Erosion and Sediment Report (in Persion).

Mehrvarzmoghanloo, K. (2014). Evaluation of the effectiveness of watershed management measures on reducing erosion and sediment in the Chalan basin, The 2nd National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran, Iran (in Persion).

Nosrati, K. (2012). Sedimentation based on uncertainty. *Iranian Journal of Water Research*, 9, 60-51 (in Persion).

Parvizi, Y., Bayat, R., Heshmati, M., & Qitouri, M. (2018). Quantitative comparison of the effect of mechanical and biological watershed management operations in controlling erosion and sedimentation of Hajiabad watershed in Kermanshah. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(42), 52-59 (in Persion).

Refahi, H. (2015). *Water erosion and its control*. 7th Edition: University of Tehran Press, 672 Pages (in Persion).

Wu, S., Sun, L., Zhang, B., Yin, Z., Guo, H., Siddique, K.H., & Yang, J. (2022). Assessing the performance of conservation measures for controlling slope runoff and erosion using field scouring experiments. *Agricultural Water Management*, 259, 107212.

Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., Wang, T., & Wang, T. (2019). Influence of check dams on flood and erosion dynamic processes of a small watershed in the Loss Plateau. *Water*, 11(4), 834.

Zhang, Z., Chai, J., Li, Z., Chen, L., Yu, K., Yang, Z., Zhang, X., & Zhao, Y. (2022). Effect of check dam on sediment load under vegetation restoration in the Hekou-Longmen Region of the Yellow River. *Frontiers in Environmental Science*, 713.