Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Effects of watershed management practices on the quadric services of Chehel-Chai Watershed, Golestan Province

Zeinab Karimi[1]*, Amir Sadoddin[2], Vahedberdi Sheikh[2]

[1]Postdoc Researcher, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
[2]Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Introduction
Ecological services are the benefits that humans derive from ecosystems and include four categories of provision, regulatory, cultural, and supportive services. Each of these four categories includes a wide range of ecosystem services. In fact, climate control services include hydrological cycles, water supply and biochemicals, land-based processes and various biological processes. In this regard, to reduce the degradation rate and improve the condition of the Chehl-Chai Watershed in the northeast of Iran, several watershed management measures have been implemented.

Materials and Methods
The present study has investigated the extent of changes of supporting service (soil aggregate stability), provisioning (crops and fruits production, timber, and biomass production), regulating (control of soil erosion, runoff control, and carbon sequestration), and cultural (Increase of interaction and sustainability of local communities, increase of landscape aesthetics and tourist attraction and increase of knowledge and educational values) as a result of implementation of restoration measures in Chehl-Chai Watershed of Golestan Province. After quantifying the amount of services, prioritization of measures was done using TOPSIS method to identify and propose the most effective management option to improve services in the study area.

Results and Discussion
The results showed that the effect of watershed management measures on the ecosystem services improvement is not the same for all services, whereas it is highest for the regulating services and decreases towards the provisioning, supporting, and cultural services, respectively. Furthermore, the watershed management measures on improvement of the watershed services of treatment sub-watershed showed a statistically significant difference at the level of 5% ($p<0.05$). The results of applying TOPSIS method in the treatment sub-watershed showed that walnut orchards have provided the best effectiveness according to the indicators and criteria considered in the study. In other words, watershed management measures, through increasing the vegetation cover have led to more preciptation absorption, reduction of surface runoff and soil erosion in sloping lands and enhancement of landscape aesthetics as well as improvement of stakeholders participation level, social relationships, and income generation through conducting training and extension programs.

Conclusion
Among the employed measures, horticultural activities (planting walnut trees) have had the most success and if additional measures are taken and expanded, the success rate can be improved to a more desirable level. The watershed management measures are economically viable and can be implemented by the people. Therefore, in order to optimally manage water and soil resources and make watershed management more effective in improving the services of Chehelchai watershed, horticultural activities intercropped with forage and medicinal plants are recommended. In addition, the criteria, indicators and procedures applied in this study to quantify the effectiveness of watershed measures on ecosystem services can be consulted in developing a methodology or guideline for monitoring and evaluation of watershed management measures.

Keywords: Watershed management measures, Evaluation, Priortitization, Treatment and control sub-watersheds

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: Karimi.modares@gmail.com

Citation: Karimi, Z., Sadoddin, A., Sheikh, V. (2022). Effects of watershed management practices on the quadric services of Chehel-Chai Watershed, Golestan Province. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 18-36.
DOI: 10.22098/MMWS.2022.10523.1087
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.4.2.3

Received: 14 March 2022, Received in revised form: 30 March 2022, Accepted: 11 April 2022, Published online: 02 June 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 4, pp. 18-36
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili
© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

اثرات اقدامات آبخیزداری بر خدمات چهارگانهٔ آبخیز چهل‌چای استان گلستان

زینب کریمی[۱*]، امیر سعدالدین[۲]، واحدبردی شیخ[۲]

[۱] پژوهشگر پسادکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۲] دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکدهٔ مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

با توجه به فشار مضاعف بر آبخیزها در سراسر جهان، کارشناسان و پژوهش‌گران در تلاش هستند تا به شیوه‌های علمی مؤثر و پایدار باعث کاهش تخریب و سیر قهقرایی آبخیزها شوند. در همین راستا، در ایران نیز به‌منظور کاهش نرخ تخریب و بهبود شرایط آبخیزها، اقدامات آبخیزداری متعددی صورت گرفته است. لذا، پژوهش حاضر در حوزهٔ آبخیز چهل‌چای استان گلستان به بررسی میزان تغییرات خدمات حمایتی (پایداری خاک‌دانه)، تولیدی (تولید زراعی و باغی، تولید چوب و زی‌توده)، تنظیمی (مهار فرسایش خاک، مهار رواناب و ترسیب کربن) و فرهنگی (افزایش تعامل و ماندگاری جوامع‌محلی، افزایش زیبایی‌منظر و جذب گردشگر در منطقه و ارتقاء دانش و ارزش‌های آموزشی)، در نتیجهٔ اجرای اقدامات اصلاحی انجام شده است. پس از کمی‌سازی مقادیر خدمات، اولویت‌بندی اقدامات با استفاده از روش TOPSIS (تاپسیس) انجام شد تا مؤثرترین گزینهٔ مدیریتی به‌منظور بهبود خدمات آبخیز چهل‌چای و آبخیزهای مشابه شناسایی و پیشنهاد شود. نتایج نشان داد که تأثیر انواع اقدامات آبخیزداری بر بهبود خدمات آبخیز یکسان نبوده و بیش‌ترین تأثیر مربوط به خدمات تنظیمی و پس از آن به‌ترتیب مربوط به خدمات تولیدی، حمایتی و فرهنگی است. اقدامات آبخیزداری بر بهبود خدمات زیرآبخیز تیمار تأثیر معناداری را در سطح پنج درصد ($p< ۰/۰۵$) نشان داد. هم‌چنین، نتایج مدل تاپسیس در ارزشیابی اثر اقدامات مدیریتی بر خدمات آبخیز نشان داد که از بین اقدامات انجام‌شده تبدیل اراضی زراعی دیم به فعالیت‌های باغی (کاشت درختان گردو) بهترین اثربخشی را با توجه به شاخص‌ها و معیارهای در نظر گرفته‌شده فراهم کرده است. بنابراین، به‌منظور مدیریت بهینهٔ منابع آب و خاک و اثربخشی بیش‌تر اقدامات آبخیزداری بر بهبود خدمات حوزهٔ آبخیز چهل‌چای، تبدیل اراضی زراعی شیب‌دار به باغ به همراه کشت گیاهان علوفه‌ای یا دارویی در فواصل بین درختان پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود معیارها، شاخص‌ها و شیوه‌های مورد استفاده در این پژوهش برای کمی‌سازی اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر خدمات آبخیز در تدوین شیوه‌نامه یا دستورالعمل پایش و ارزشیابی اقدامات آبخیزداری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ارزشیابی، اقدامات آبخیزداری، اولویت‌بندی اقدامات، زیرآبخیزهای تیمار و شاهد

نوع مقاله: پژوهشی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Karimi.modares@gmail.com

استناد: کریمی، ز.، سعدالدین، ا.، شیخ، و. (۱۴۰۱). اثرات اقدامات آبخیزداری بر خدمات چهارگانهٔ آبخیز چهل‌چای استان گلستان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۱۸-۳۶.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.10523.1087

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.4.2.3

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۴، صفحه ۱۸ تا ۳۶

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آبخیزها از بوم‌سازگان‌های مختلف تشکیل شده است و منافع متعددی برای افراد فراهم می‌کنند. معنا و مفهوم بسیار ساده و خلاصه‌شدهٔ بوم‌سازگان، مجموعهٔ موجودات زنده و محیط زندگی آن‌ها است. هر بوم‌سازگان دارای ساختار و عملکرد مربوط به خود است. این ساختار و عملکرد بوم‌سازگان، کالاها و خدماتی را تولید می‌کند که دارای ارزش است (Heal et al., 2005). بر اساس تعریف ارزیابی بوم‌سازگان هزاره[1]، خدمات بوم‌سازگانی مزایایی هستند که انسان‌ها از بوم‌سازگان به‌دست می‌آورند و شامل چهار دسته خدمات تولیدی[2]، تنظیمی[3]، فرهنگی[4] و حمایتی[5] هستند. هر یک از این چهار دسته شامل طیف گسترده‌ای از انواع خدمات بوم‌سازگانی هستند. خدمات تولیدی بر تمامی منابع تولید و استخراج‌شده توسط آبخیز چون غذا، آب شیرین یا منابع درمانی دلالت دارد و مواد یا انرژی خروجی از آبخیز را توصیف می‌کنند. هم‌چنین، تمامی روش‌هایی که آبخیزها از طریق آن‌ها قادر به تعدیل محیط هستند، در زمرهٔ خدمات تنظیمی قرار می‌گیرند که شامل تنظیم جریان، تعدیل رویدادهای شدید، مهار فرسایش و یا مهار زیستی می‌باشند. در واقع خدمات مربوط به تنظیم آب‌وهوا، چرخه‌های هیدرولوژیکی، تأمین آب و مواد زیستی-شیمیایی، فرآیندهای سطح زمین و فرآیندهای گوناگون زیست‌شناختی را شامل می‌شوند. به‌طور معمول اهمیت این دسته از عملکردها تا زمانی‌که دچار اختلال نشده‌اند، آشکار نمی‌شود. ضمن این‌که، خروجی‌های غیرمادی آبخیزها که شرایط فیزیکی یا روانی انسان‌ها را متأثر می‌سازند نیز در دسته خدمات فرهنگی جای می‌گیرند. به‌عنوان‌مثال، با فوایدی که مردم از آبخیزهای منطقه از طریق تفرج، آموزش و تفکر، استراحت و یا آرامش روحی به‌دست می‌آورند، ارتباط دارد. در نهایت، خدمات حمایتی، خدمات ارائه‌شده برای حمایت از زیستگاه‌ها و آبخیزها هستند و اثرات غیرمستقیم بر فعالیت انسان‌ها می‌گذارند. به‌عبارت‌دیگر، به‌عنوان فرآیندها و عملکردهای بوم‌شناختی لازم برای تولید پیشین تعریف می‌شوند که دربرگیرندهٔ زیستگاه گونه‌ها و مراقبت از تنوع ژنتیکی هستند. لذا، با توجه به اهمیت خدمات آبخیز، حفظ و حمایت از خدمات مذکور برای کاهش تخریب و سیر قهقرایی آبخیزها به شیوه‌های علمی و بهینه ضرورت دارد. ضمن این‌که، افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به منابع جدید موجب فشار مضاعف بر حوزه‌های آبخیز و تخریب آن‌ها شده است؛ به‌گونه‌ای که تخریب و سیر قهقرایی آبخیزها یکی از معضلات قرن حاضر است. عوامل گوناگونی از جمله مدیریت نامناسب در بهره‌برداری، شرایط اقلیمی، بوم‌شناختی و وضعیت اقتصادی-اجتماعی باعث ایجاد چنین وضعیتی است. در این راستا، اجرای اقدامات آبخیزداری با استفاده از مجموعهٔ اقدامات سازه‌ای و زیستی به‌دنبال بهبود عملکرد آبخیزها با توجه به وضعیت اقتصادی- اجتماعی گرودارن است (Sadoddin et al., 2010). در راستای تلاش‌های انجام‌شده، پایش و ارزشیابی عملیات اجرایی آبخیزداری بر خدمات آبخیز می‌تواند در ادامهٔ این کار و بهبود روند فعالیت‌های آبخیزداری مؤثر باشد. در این راستا، مطالعات متعددی توسط پژوهش‌گران مختلف در زمینهٔ مدل‌سازی (Logsdon and Chaubey, 2013; Moshari et al., 2020; Dai et al., 2021) و ارزش‌گذاری خدمات بوم‌سازگان (Zhang et al., 2015; Asadollahi et al., 2016; Wang et al., 2017; Amirnejad and Ataei soluk, 2018) انجام شده است. ضمن این‌که، Karimi et al. (2022) به ارزشیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر میزان ترسیب کربن زی‌توده به‌صورت کمی (نمونه‌برداری‌های میدانی) و کیفی (دیدگاه آبخیزنشینان) در حوزهٔ آبخیز چهل‌چای پرداختند و نتیجه گرفتند مقدار ترسیب کربن زی‌توده در مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی در مقایسه با اراضی شاهد بیش‌تر و از نظر آماری معنادار است. آن‌ها دریافتند از بین اقدامات آبخیزداری انجام‌شده، توسعهٔ باغ‌ها به‌ویژه باغ‌های گردو در زمین‌های زراعی شیب‌دار به‌دلیل قابلیت بالاتر در جذب و نگهداشت کربن و جلوگیری از فرسایش خاک، به‌عنوان یکی از گزینه‌های مدیریتی با اولویت بالا برای اجرا در منطقه است. هم‌چنین، ارزیابی دیدگاه آبخیزنشینان در مورد اثر اقدامات مدیریتی اجرا شده بیان‌گر نقش به‌سزای آن‌ها در بهبود شرایط منطقه از نظر پوشش گیاهی، تثبیت خاک و کاهش فرسایش خاک است. Kabiri Hendi et al. (2021) در پژوهش خود به ارزیابی خدمات فرهنگی در سطح استان گلستان با استفاده از روش چند معیاره پرداختند. برای این منظور، در گام نخست هفت معیار شامل آموزش، الهام‌بخشی، تفرج، مکان، زیبایی‌منظر، معنوی و مذهبی و میراث را بر اساس روش دلفی شناسایی و اولویت‌بندی کردند. در نهایت منطقهٔ مورد مطالعه را بر اساس خدمات فرهنگی آبخیز به پهنه‌هایی تقسیم و شاخص‌های زیبایی و آموزش را به‌عنوان مهم‌ترین و دارای بالاترین اولویت در پارک ملی گلستان و جنگل تحقیقاتی دکتر بهرام‌نیا معرفی کردند. هم‌چنین، Balazsi et al. (2020) به بررسی نقش خدمات فرهنگی آبخیز بر اراضی کشاورزی اروپا به‌صورت کیفی و از دیدگاه کارشناسان و متخصصان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد ارزش‌های زیبایی‌شناختی، آموزش و تفریح به‌عنوان مهم‌ترین زیرمجموعهٔ خدمات فرهنگی آبخیز هستند. هم‌چنین، مفهوم خدمات فرهنگی

[1] Millennium Ecosystem Assessment (2005)
[2] Provisioning
[3] Regulating
[4] Cultural
[5] Supporting

آبخیز با اجرای سیاست‌های پژوهش (کشاورزی پایدار، حفاظت از طبیعت، سیاست‌های محیط‌زیستی و توسعهٔ روستا)، فاصله دارد. بنابراین، به‌منظور حفظ چنین سامانه‌هایی و اجرای بهتر، پژوهش‌های بین‌رشته‌ای برای توسعهٔ سیاست و تصمیم‌گیری یکپارچهٔ خدمات فرهنگی آبخیز پیشنهاد شد. Shahraki (2015) et al. طی پژوهشی با استفاده از پرسش‌نامه، ارزش اجتماعی ۱۷ شاخص خدمات آبخیز را مورد بررسی قرار دادند. جامعهٔ آماری متشکل از کشاورزان، دام‌داران و زنبورداران منطقهٔ هزار جریب استان مازندران بود که از بین آن‌ها ۱۰۰ نفر به‌عنوان حجم نمونه، به‌طور تصادفی انتخاب شدند. شاخص‌های دام‌پروری، جمع‌آوری گیاهان دارویی، تفریح و استراحت و پرورش زنبورعسل، به‌ترتیب چهار اولویت اول را به‌عنوان مهم‌ترین و شاخص‌های کوهنوردی و تهیهٔ مصالح ساختمانی، به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌ها در مراتع حریم روستا، از طرف روستاییان منطقه معرفی شدند. جمع‌بندی پیشینهٔ پژوهش نشان می‌دهد اگر چه پژوهش‌های مختلفی در راستای خدمات آبخیز انجام شده است، اما در کشور ایران در خصوص کمی‌سازی خدمات آبخیز و تأثیر اقدامات آبخیزداری بر خدمات زیرآبخیز تیمار در مقایسه با شاهد و شناسایی و اولویت‌بندی گزینهٔ مدیریتی مناسب صورت نگرفته است. از این‌رو، با توجه به ضرورت انجام ارزشیابی در مدیریت پروژه‌های آبخیزداری از یک‌سو و هم‌چنین با توجه به پژوهش‌های محدود صورت گرفته در خصوص ارزشیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر ارائهٔ خدمات آبخیزها، پژوهش حاضر با هدف کمی‌سازی خدمات و ارزشیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر خدمات زیرآبخیز تیمار در مقایسه با شاهد به‌منظور رسیدن به یک تصمیم مدیریتی مناسب برنامه‌ریزی شده است. لذا، دو زیرآبخیز ده‌چناشک (تیمار) و چمانی‌بالا (شاهد) که در مجاورت یکدیگر قرارگرفته‌اند (واقع در آبخیز چهل‌چای) و امکان انجام اندازه‌گیری‌ها و تطبیق نتایج با شرایط مشابه در ابعاد گوناگون باشد، برای پژوهش حاضر انتخاب شدند.

۲- مواد و روش‌ها

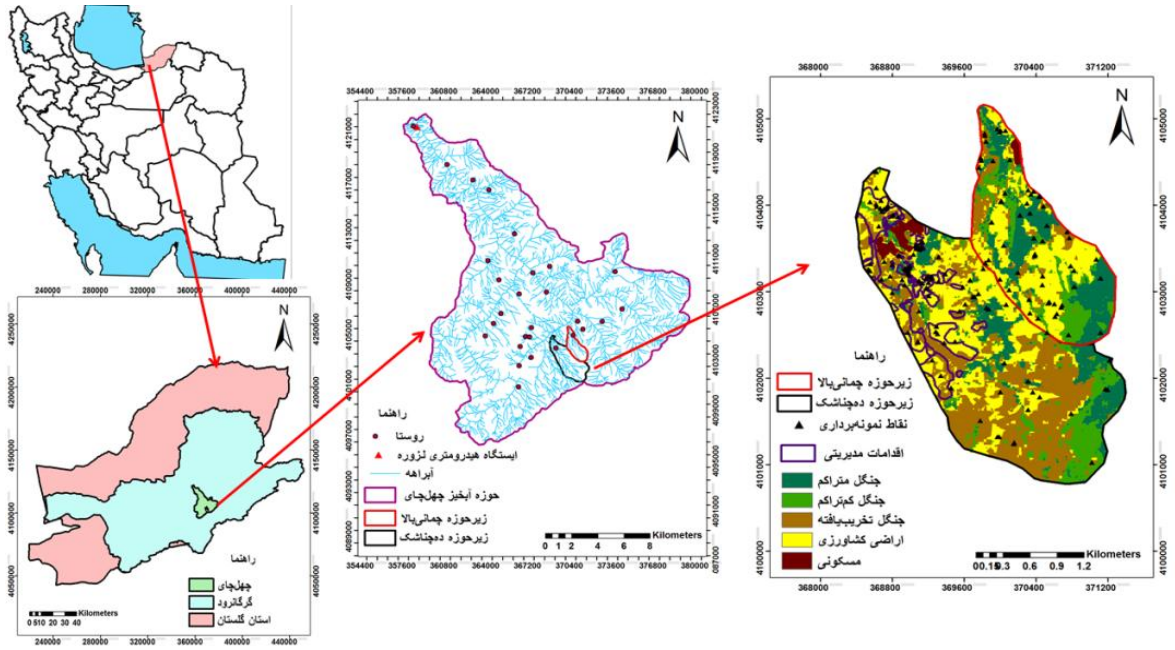
۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز چهل‌چای با مساحتی حدود ۲۵۶۸۰ هکتار در بین طول‌های جغرافیایی شرقی ″۳۰ ′۲۶ °۵۵ الی ″۳۰ ′۳۷ °۵۷ و عرض‌های جغرافیایی شمالی ″۳۰ ′۵۷ °۳۶ الی ′۱۵ °۳۷ واقع شده است. حوزهٔ آبخیز چهل‌چای یکی از آبخیزهای بزرگ‌آبخیز گرگان‌رود است. متوسط بارش سالانه آبخیز بر اساس اطلاعات ایستگاه لزوره حدود ۷۶۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۴/۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد گزارش شده است. این آبخیز دارای دو کاربری عمدهٔ جنگل و زراعت است. زراعت در اراضی با شیب تند یکی از معضلات آبخیز است که باعث افزایش شدید پتانسیل تولید رواناب و فرسایش خاک در آبخیز شده است (مطالعات مدیریت جامع آبخیزداری، آبخیز چهل‌چای). بنابراین، با توجه به مشکلات موجود در آبخیز چهل‌چای، پروژه‌های آبخیزداری متعددی در تعدادی از زیرآبخیزهای این آبخیز برای بهبود شرایط موجود اجرا شده است. یکی از این زیرآبخیزها که در آن پروژه‌های متنوعی اجرا شده است زیرآبخیز ده‌چناشک است. لذا، این زیرآبخیز به‌عنوان زیرآبخیز تیمار و زیرآبخیز چمانی‌بالا که در مجاور آن قرار گرفته و در آن هیچ‌گونه پروژهٔ آبخیزداری اجرا نشده است به‌عنوان زیرآبخیز شاهد انتخاب شدند. این دو زیرآبخیز دارای شرایط اقلیمی (مرطوب)، زمین‌شناسی و کاربری اراضی مشابه (جنگل و زراعت دیم) می‌باشند. شکل ۱، موقعیت و نقاط نمونه‌برداری دو زیرآبخیز واقع در حوزهٔ آبخیز چهل‌چای را نشان می‌دهد.

۲-۲- روش‌شناسی پژوهش

لازمهٔ ارزشیابی خدمات آبخیز در درجهٔ اول، برآورد کمی میزان هر یک از خدمات با استفاده از شاخص‌های مناسب است. لذا، با توجه به اقدامات آبخیزداری انجام‌شده در زیرآبخیز تیمار و تأثیر بر خدمات آبخیز، این تأثیرات در ارزشیابی خدمات آبخیز لحاظ شد. از این‌رو، به‌منظور انجام پژوهش حاضر، ابتدا نقشهٔ کاربری اراضی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 مربوط به سال ۲۰۱۸ تهیه شد. سپس با استفاده از روش همبستگی بین باندها، ترکیب کاذب رنگی ۵۴۲، در محیط نرم‌افزار Erdas Imagine ایجاد شد. پس از بررسی هیستوگرام باندهای طیفی و بر اساس تفاوت خصوصیاتی نظیر رنگ، تن، بافت، شکل و اندازه در تصویر، طبقه‌های مورد نظر مشخص و تعریف شدند. در ادامه، با شناخت کلی تصویر و با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصویر، هر یک از کلاس‌ها در مرحله‌های جداگانه و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده از یک‌دیگر تفکیک شدند (Sabin, 1996). در این نوع طبقه‌بندی، از روش حداکثر احتمال[1] استفاده شد. در واقع از یک روش سلسله مراتبی برای طبقه‌بندی استفاده شد. به‌عبارت‌دیگر، در روش طبقه‌بندی نظارت‌شده آگاهی از تعداد طبقه‌های موجود در منطقه، خصوصیات این طبقه‌ها و یک‌سری پیکسل‌هایی که به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی[2] برای هر طبقه که در تصویر وجود دارد مورد نیاز است. انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز برای طبقه‌بندی طبقه‌های مختلف در منطقه با شناخت از منطقه و با استفاده از اطلاعات جنبی و استفاده از تصویر رنگی کاذب انجام شد. برای این منظور، در منطقهٔ مورد مطالعه به فراخور سهم هر طبقه، تعداد مناسبی نمونهٔ تعلیمی به‌طور تصادفی با استفاده از بررسی‌های

[1] Maximum Likelihood
[2] Training Data



شکل ۱- موقعیت و نقاط نمونه‌برداری زیرآبخیز ده‌چناشک و چمانی‌بالا (آبخیز چهل‌چای)

Figure 1- Location and sampling points of the Dehchenashk and Chamaniebala sub-watersheds (Chehl-Chai Watershed)

میدانی، تصاویر Google Earth و تصاویر رنگی کاذب در سطح مناطق مورد بررسی انتخاب شد. با این روش، طبقه‌های موردنظر مرحله به مرحله و در هر مرحله یک طبقهٔ خاص و یا یک طبقهٔ همراه با زیرطبقه‌های مربوطه از دیگر طبقه‌ها تفکیک شد. پس از آن‌که نمونه‌های تعلیمی برای کاربری‌های مختلف انتخاب شدند، برای ارزیابی و اصلاح نمونه‌ها، نشانه‌های طیفی هر یک از طبقه‌های فوق در باندهای اصلی و پردازش‌شده استخراج شد و نمودار توزیع ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی در تمامی باندهای طیفی بررسی شد. برای بررسی تشابه آن‌ها و میزان تفکیک‌پذیری طبقه‌ها، از روش ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری استفاده و تفکیک‌پذیری آن‌ها با استفاده از شاخص واگرایی تبدیل‌شده بررسی شد. پس از انتخاب بهترین ترکیبات باندی، عملیات طبقه‌بندی با استفاده از روش حداکثر احتمال انجام شد. در واقع نتیجه نهایی طبقه‌بندی، تصویر یک باندی است که در آن طبقات نمونه‌گیری‌شده کاملاً مجزا شده و هر طبقه دارای کد خاصی است. در نهایت، با توجه به هدف پژوهش و نوع پوشش‌های موجود در منطقه‌های مورد بررسی، ۵ طبقه شامل اراضی کشاورزی، جنگل متراکم، جنگل کم‌تراکم، جنگل تخریب‌یافته و منطقه‌های مسکونی در تصویر تفکیک و طبقه‌بندی شد (شکل ۱). در ادامه، برای تعیین صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای، از روش نمونه‌برداری تصادفی استفاده و روی نقشهٔ منطقه پیاده شد و با در نظر گرفتن موقعیت مکانی محل قطعات نمونه در روی زمین، نوع کاربری سطح زمین تعیین شد. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از عملیات صحرایی و با بهره‌گیری از قابلیت سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نقشه، واقعیت زمینی با پنج طبقه تهیه شد. به‌دلیل ساختار رستری تصاویر ماهواره‌ای و نیز با توجه به این‌که این نقشه مبنا در ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد، ساختار نقشه واقعیت زمینی از حالت برداری به رستری تبدیل شد. در مجموع، ۶۰ نقطه از مناطق مورد مطالعه برداشت و از آن‌ها یک نقشه با ساختار رستری تهیه شد. در نهایت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی با نقشه‌های واقعیت زمینی مقایسه شدند. هم‌چنین، برای اطمینان از نتایج طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شد. به‌منظور بررسی دقت طبقه‌بندی، مقایسه‌ای با نقشه‌های کاربری موجود و هم‌چنین بازدیدهای میدانی انجام شد و دقت طبقه‌بندی ارزیابی شد. در این مطالعه برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از ضریب کاپا[1] استفاده شد. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصویر مورد استفاده در پژوهش، در مورد ضریب کاپا و ماتریس خطا به‌ترتیب ۸۱ و ۱۳ حاصل شد. در ادامه، شاخص‌های خدمات آبخیز در هر کاربری و مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد محاسبه شد. لازم به ذکر است نمونه‌برداری در هر نقطه با سه تکرار انجام شد (جدول ۱). در ادامه به شرح هر کدام از شاخص‌های خدمات آبخیز پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- کمی‌سازی خدمات حمایتی

- پایداری خاک‌دانه

[1] Kappa Coefficient

از شاخص میانگین وزنی قطر (MWD) خاک‌دانه برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک استفاده شد (Bagarello and Sgroi, 2004). لذا به‌منظور محاسبهٔ پایداری خاک‌دانه، با توجه به مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی (نهال‌کاری و اراضی تراس‌بندی شده) و انواع مختلف کاربری اراضی (جنگل و زراعی) در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، نمونه‌هایی از خاک تهیه (جدول ۱) و برای انجام آزمایش‌های لازم به آزمایشگاه منتقل شدند. لازم به ذکر است اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک با استفاده از روش الک تر و شیوه مرطوب کردن سریع صورت پذیرفت.

۲-۲-۲- کمی‌سازی خدمات تولیدی

-تولید زراعی و باغی

برای ارزشیابی این شاخص، به اطلاعاتی در خصوص درآمد، سود و هزینه‌های تولید محصولات زراعی و باغی نیازمند است. برای محاسبهٔ درآمدها، میانگین تولید هر محصول در هکتار، در قیمت هر کیلوگرم آن در نظر گرفته شده است (Amirnejad and Ataei soluk, 2018). هزینه‌های پرداختی شامل هزینه‌های تولید هر هکتار محصول یا میوه و هم‌چنین هزینه‌های احداث تراس و باغ است. در نهایت، سود حاصل از محصولات باغی و زراعی کشت‌شده در اراضی کم‌بازده زیرآبخیز تیمار، با استفاده از روش نسبت منافع به مخارج برآورد شد. در این روش، با توجه به دامنهٔ زمانی عمر فعالیت‌ها، افق برنامه‌ریزی معادل ۲۵ سال، بر اساس برنامهٔ بهره‌برداری طولانی‌ترین پروژه در نظر گرفته شد.

- تولید چوب

ابتدا بر اساس کاربری اراضی تهیه شده، آماربرداری‌های انجام‌گرفته و نظرات کارشناسان، تیپ‌های جنگلی و باغ‌های مثمر در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد مشخص شد. سه نوع تیپ جنگلی شامل ممرز-بلوط (جنگل پرتراکم)، ممرز-افرا (جنگل کم‌تراکم) و بلوط-ممرز (جنگل تخریب‌یافته) در زیرآبخیزها غالب است. باغ‌های موجود نیز، شامل درختان گردو، گلابی، سیب و گیلاس است. در ادامه، داده‌های مربوط به تولید چوب درختان شامل رویش، موجودی سرپا و غیره بودند که از طریق کتابچهٔ طرح مطالعات آبخیزداری و مدیریت جامع آبخیز چهل‌چای استان گلستان و منابع کتابخانه‌ای، مقالات و پایان‌نامه‌های انجام شده در آبخیز چهل‌چای و هم‌چنین برداشت و بازدیدهای میدانی در زیرآبخیزهای تیمار و شاهد جمع‌آوری شدند. لذا، پس از جمع‌آوری اطلاعات، با استفاده از معادلات تجربی از جمله فرمول اسمالیان (معادلهٔ ۱)، موجودی و در نهایت ارزش چوب درختان برآورد شد. در فرمول اسمالیان، V، حجم (مترمکعب)؛ g_1 و g_2، سطح مقطع پایینی و بالایی (مترمربع)؛ h، ارتفاع کل درخت (متر) و f، ضریب شکل درخت هستند.

$$V_e = \left(\frac{g1+g2}{2}\right) \times h \times f \quad (۱)$$

- زی‌توده

برآورد زی‌تودهٔ هوایی گیاهان زراعی از روش تصادفی-سیستماتیک و اندازه‌گیری مستقیم (قطع و توزین) صورت پذیرفت. لذا، در هریک از تیمارها در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، ترانسکت را در جهت گرادیان تأثیرگذاری که شیب منطقه بود تعیین و سپس کرت‌ها با مساحت یک مترمربع، روی آن‌ها قرار داده شد. سپس، نمونه‌ها در آزمایشگاه توزین و وزن تر اولیهٔ گیاه به‌دست آمد. در ادامه، برای اندازه‌گیری میزان زی‌تودهٔ درختان از روابط آلومتریک استفاده شد. در واقع، روابط آلومتریک ابزاری برای برآورد وزن کل درخت و یا اندام‌های درخت از طریق متغیرهای مستقلی مانند قطر برابر سینه و یا ارتفاع است که در توده قابل‌اندازه‌گیری هستند (Komiyama et al., 2008). در نهایت پس از اندازه‌گیری متغیرهای مورد نیاز، از روابط Subedi et al. (2010) (معادلهٔ ۲) و Parsapur et al. (2014) (معادلهٔ ۳) به‌ترتیب برای برآورد زی‌تودهٔ درختان جنگلی و درختان باغی استفاده شد. در این روابط، AGTB، زی‌تودهٔ درختان (kg)؛ ρ، چگالی مخصوص چوب (g.cm3)؛ D، قطر درخت در ارتفاع برابر سینه (cm)؛ g، سطح مقطع (m2)؛ V، حجم درختان (m3) و H، ارتفاع (m) هستند.

$$AGTB = 0.112 \times (\rho D^2 H)^{0.916} \quad (۲)$$

$$V = g \times H \quad (۳)$$

۲-۲-۳- کمی‌سازی خدمات تنظیمی

- ترسیب کربن

برای محاسبهٔ کل کربن ترسیب‌یافته (C) از رابطه C= C1+C2+C3+C4 استفاده شد. که در آن C1، C2، C3 و C4 به‌ترتیب کربن ذخیره‌شده در اندام‌های هوایی، کربن ذخیره‌شده در اندام‌های زیرزمینی، کربن ذخیره‌شده در لاشبرگ و علوفهٔ سطح و کربن ذخیره‌شده در خاک است. لذا، بعد از اندازه‌گیری زی‌تودهٔ هوایی گیاهان، از روش احتراق برای تعیین ضریب تبدیل کربن در گیاهان زراعی و از فرمول فتوسنتز (معادلهٔ ۴) برای برآورد کربن درختان (مقدار C1) استفاده شد (Amirnejad and Ataei soluk, 2006). طبق معادلهٔ ۴، گیاه با جذب ۲۶۴ گرم دی‌اکسید کربن، به میزان ۱۶۲ گرم آمیلاز یا مادهٔ خشک گیاهی تولید می‌کند. بنابراین، به ازای تولید هر کیلوگرم مادهٔ خشک، به میزان ۶۳/۱ کیلوگرم کربن توسط درختان تثبیت می‌شود.

$$CO2\ (264g) + H2O\ (108g) \quad C6H12O6\ (180g) + O2\ (193g) \quad \text{Amylase}\ (162g) \qquad (۴)$$

ضمن اینکه، برای محاسبه C2 نیاز به زی‌تودهٔ زیرزمینی است، که این میزان به‌طورمعمول حدود یک‌پنجم زی‌تودهٔ هوایی (FAO, 2002) و رقم پنج درصد C1، به‌عنوان C3، در نظر گرفته شد (Hargreaves et al., 2003). هم‌چنین، برای برآورد C4، با توجه به مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی و انواع مختلف کاربری اراضی در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، نمونه‌هایی از خاک تهیه شد (جدول ۱). نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در نهایت، پس از آماده‌سازی نمونه‌ها (MacDicken, 1977)، کربن آلی خاک به روش والکی‌بلاک (Nelson and Sommers, 1982) مشخص شد.

- مهار فرسایش خاک

از رابطه USLE[1]، برای برآورد میزان فرسایش خاک سالانه از یک سطح ارضی معین ($A = R.K.L.S.C.P$)، استفاده شد (Renard et al., 1997). پارامترهای مدل USLE به‌ترتیب شامل عامل R (فرسایندگی باران)؛ عامل K، (فرسایش‌پذیری خاک)؛ عامل LS (توپوگرافی)؛ عامل C (پوشش گیاهی) و عامل P (عملیات حفاظتی) هستند. در این روش جهت برآورد عامل R، از معادلهٔ فورنیه و عامل K براساس مقدار کربن، سیلت، رس و شن اندازه‌گیری شده در انواع کاربری‌ها تعیین شد. عامل LS با استفاده از رابطهٔ McCool et al. (1997) در نرم‌افزار GIS و عامل C بر اساس نقشهٔ پوشش گیاهی و کاربری اراضی مشخص شد (Wischmeier and Smith, 1978). هم‌چنین مقدار عامل P در زیرآبخیز شاهد به‌دلیل عدم وجود اقدامات حفاظتی یک و برای زیرآبخیز تیمار، بر اساس نوع عملیات حفاظتی (فعالیت باغی و تراس‌بندی)، نقشهٔ شیب و کاربری اراضی (جدول ۲)، تعیین شد. در مرحلهٔ نهایی، از تلفیق نقشه‌های استخراج‌شده، نقشهٔ فرسایش خاک حاصل شد.

- ارتفاع رواناب

یکی از روش‌های بررسی چگونگی شکل‌گیری جریان سطحی در اثر بارندگی حاصله روی زمین، روش شمارهٔ منحنی SCS[2] (سازمان حفاظت خاک آمریکا) است که در آن به شرایط خاک و پوشش گیاهی آن در تبدیل به رواناب توجه شده است. در روش SCS، برای تعیین بارش مازاد یا رواناب، نیاز به محاسبهٔ تلفات بارش (S) است که توسط رابطه‌ای با یک عامل بدون بعد به نام شمارهٔ منحنی (CN) محاسبه شد. در این روش، با توجه به داده‌های بارندگی در حوزهٔ آبخیز چهل‌چای، مقدار حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، ۵۹ میلی‌متر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است، در پژوهش حاضر به‌منظور تعیین اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر خدمات آبخیز، از روش مقایسهٔ مکانی زیرآبخیز تیمار و شاهد استفاده شده است. از طرفی، مقدار S با نوع پوشش، نحوه بهره‌برداری از اراضی و وضعیت سطح خاک از نظر نفوذپذیری متفاوت است. لذا، پس از تهیهٔ نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیک خاک و تلفیق نقشهٔ کاربری آبخیز، شمارهٔ منحنی در نرم‌افزار GIS استخراج و مقدار نگهداشت (S) و رواناب کل (Q) برای هر کاربری بر اساس CN محاسبه شد (رابطه‌های ۵ و ۶).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (۵)$$

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} > 0.2\ S \qquad (۶)$$

۲-۲-۴- کمی‌سازی خدمات فرهنگی

به‌منظور تعیین اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر خدمات فرهنگی زیرآبخیز تیمار، از روش اثربخشی قبل و بعد از اقدامات در آبخیز استفاده شد. لذا، با توجه به اهداف موردنظر، شاخص‌هایی (افزایش ماندگاری جوامع محلی، افزایش ارتباطات جوامع محلی، افزایش زیبایی‌منظر و جذب گردشگر و ارتقاء دانش و ارزش‌های آموزشی) در قالب پرسش‌نامه (۹۰ پرسش‌نامه براساس فرمول کوکران) تعیین شد. لازم به ذکر است انتخاب شاخص‌ها بر اساس منابع موجود (Brown et al., 2012; Luederitz et al., 2015; Moshari et al., 2020) صورت پذیرفت. محورهای پرسش‌ها در این پژوهش، بر مبنای طیف لیکرت، پاسخ‌هایی از خیلی کم (۱) تا خیلی زیاد (۵) را دارد (Karimi and Sheikh, 2020). در ادامه، روایی پرسش‌نامه‌ها توسط کارشناسان و متخصصان خبره در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. سپس با پیمایش در منطقه، نسبت به تکمیل پرسش‌نامه‌ها توسط آبخیزنشینان که به‌طور تصادفی انتخاب شدند، اقدام شد.

۲-۵- اولویت‌بندی اقدامات

از آن‌جا که هر یک از اقدامات، پیامدهای گوناگون و گاهی متضاد را به دنبال خواهند داشت، لذا با استفاده از فن تصمیم‌گیری چندمعیاره با توجه به وجود آثار گوناگون اقدامات مدیریتی و تفاوت در طبیعت و ماهیت معیارها، اقدامات دارای اولویت و اهمیت برتر مدیریتی، به‌منظور رفع مشکلات و بهبود و مدیریت منابع زیرآبخیز تیمار پیشنهاد شد. بدین‌منظور، از روش TOPSIS[3] (تاپسیس) که

[1] Universal Soil Loss Erosion
[2] Soil Conservation Service
[3] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

یکی از معروف‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصهٔ MADM[1] است و به‌طور گسترده در موقعیت‌های تصمیم واقعی به کار گرفته می‌شود، استفاده شد (Yang and Hung, 2007). در واقع، تاپسیس یکی از مدل‌های زیرگروه سازشی است که زیرگروه سازشی نیز خود زیرگروه مدل جبرانی است. در مدل جبرانی مبادلهٔ بین شاخص‌ها مجاز است؛ یعنی به‌طور مثال، ضعف یک شاخص ممکن است توسط امتیاز شاخص دیگری جبران شود (Asgharpur, 1998). در ادامه، برای انجام پژوهش هفت اقدام مدیریتی و جهت ارزشیابی اثر اقدامات مدیریتی، چهار معیار (خدمات حمایتی، تولیدی، تنظیمی و فرهنگی) و ۱۱ شاخص در نظر و ماتریس تصمیم تشکیل شد (جدول ۸). در ادامه، با استانداردسازی ماتریس تصمیم و تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی، وزن‌دهی به معیارها صورت و وزن نهایی معیارها محاسبه شد. سپس، با ضرب کردن درایه‌های ماتریس تصمیم بی‌مقیاس‌شده در بردار وزن معیارها، ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزنی محاسبه شد. با استفاده از نتایج حاصل، فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی و نیز میزان نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل محاسبه و اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری انجام شد (جدول ۹).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خدمات حمایتی

- پایداری خاک‌دانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس میانگین پایداری خاک‌دانه در انواع مختلف کاربری‌ها، در شکل ۲ ارائه شده است. میانگین پایداری خاک‌دانه برای زیرآبخیز تیمار و شاهد به‌ترتیب ۷/۳۵ و ۶/۹۱ میلی‌متر به‌دست آمد. نتایج میانگین وزنی قطر خاک‌دانه در تیمارهای مختلف، بیان‌گر آن است که پایداری خاک‌دانه در آبخیزهای جنگلی در مقایسه با خاک‌های زراعی و باغی بیش‌تر بوده است (شکل ۲). به‌عبارت دیگر، خاک‌هایی با پوشش طبیعی به‌طور قابل‌توجهی خاک‌دانه‌های درشت‌تر و پایدارتری نسبت به خاک‌های کشت‌شده دارند. علت این امر می‌تواند بیش‌تر بودن تودهٔ زندهٔ میکروبی، بقایا و ریشهٔ گیاهان، مواد آلی، پلی‌ساکاریدها و مواد هومیکی بیش‌تر در خاک‌دانه‌های درشت خاک دست نخورده باشد (Bronick and Lal, 2005). An et al. (2010) نیز اظهار داشتند که شاخص پایداری خاک‌دانه در خاک‌های تحت کاربری جنگل بیش‌تر از سایر کاربری‌هاست. در واقع، کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها، نشان‌گر اتلاف فزاینده مواد چسبانندهٔ خاک، کاهش فعالیت زیستی خاک و حرکت ضعیف هوا و آب در خاک است و ممکن است منجر به کاهش عمق ریشهٔ گیاهان و رشد ضعیف آن‌ها شود (Jaiyeoba, 2003). ضمن این‌که، فعالیت‌های تراس‌بندی (یونجه، گندم و عدس) و باغی (گردو، گلابی و گیلاس) در اراضی کم‌بازده زیرآبخیز تیمار، تأثیر به‌سزایی بر میزان پایداری خاک‌دانه‌ها در مقایسه با شاهد گذاشته و این امر مؤید تأثیر مثبت اقدامات حفاظتی و زیستی–مکانیکی انجام‌شده است. لازم به ذکر است که مدیریت صحیح در مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی نیز به افزایش پایداری و بهبود وضعیت خاک‌دانه‌های در اراضی ذکر شده کمک کرده است که این امر می‌تواند بیان‌گر اهمیت فراوان مدیریت کاربری اراضی در کاهش زیان‌های حاصله از تغییر کاربری باشد. هم‌چنین، نتایج حاصل مبنی بر بهبود پایداری خاک‌دانه‌ها در اثر اقدامات مدیریتی، با یافته‌های به‌دست‌آمده از تحقیقات Celik (2005) مطابقت و با یافته‌های Jafari et al. (2018) هم‌خوانی نداشت. درمجموع، با توجه به نتایج می‌توان بیان نمود که تخریب آبخیزها باعث کاهش شاخص‌های کیفیت خاک شده و عملیات حفاظتی در اراضی کم‌بازده، این کاهش را جبران کرده است. به‌عبارت‌دیگر، عملیات حفاظتی انجام‌شده در منطقه، باعث افزایش کیفیت فیزیکی خاک شده است.

۳-۲- خدمات تولیدی

- تولید زراعی و باغی

میانگین عملکرد و درآمد حاصل از محصولات زراعی و باغی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، در جدول ۲ ارائه شده است. علاوه بر اراضی زراعی و باغی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، در اراضی کم‌بازده زیرآبخیز تیمار، کشت محصولات گندم، یونجه و عدس و فعالیت باغی (گردو، گلابی و گیلاس) صورت پذیرفت. ضمن اینکه دوره‌ها، بازدیدها و برنامه‌های آموزشی– ترویجی زراعی و باغی در زیرآبخیز تیمار توسط کارشناسان و تسهیل‌گران به آبخیزنشینان ارائه شد. به عقیدهٔ اجراکنندگان و آبخیزنشینان ساکن در زیرآبخیز تیمار، این افزایش سطح زیر کشت تماماً به‌دلیل اجرای پروژه‌های آبخیزداری بوده و پس از اجرای طرح، با افزایش عملکرد و سطح زیر کشت محصولات روبه‌رو شده‌اند. بر همین اساس، برای بررسی و ارزشیابی اقتصادی فرض شد (Ghanbari and Ghodusi, 2008)، دیگر عوامل در تغییر سطح زیر کشت تأثیری نداشته و صرفاً اجرای پروژه‌های آبخیزداری باعث تمامی تغییرات بوده و بر همین مبنا بررسی انجام گرفته است. در واقع قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری سطح زیر کشت ۷۱/۶۰ هکتار بوده و با اجرای اقدامات آبخیزداری سطح زیر کشت به ۱۲۴/۶۰ هکتار رسید. هم‌چنین، میانگین عملکرد محصولات زراعی گندم، یونجه و عدس در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار با افزایش تولید همراه

[1] Multiple Attribute Decision Making

بوده است (جدول ۲). هم‌چنین، برآورد نسبت سود به هزینه محصولات زراعی گندم (۵/۵۲)، یونجه (۱۶/۷۵) و عدس (۴/۰۱) نیز بیان‌گر این موضوع است که این عملیات توانسته از نظر اقتصادی دارای توجیه باشد (جدول ۲). ضمن این‌که، از بین محصولات مذکور، گیاه یونجه دارای صرفه اقتصادی بالاتری است. هم‌چنین احداث باغ‌ها در اراضی شیب‌دار و کشت گیاهان یک‌ساله در فواصل بین درختان، علاوه بر صرفه اقتصادی در حفاظت خاک نیز مؤثر می‌باشد. ضمن این‌که، نتایج نسبت سود به هزینه عملیات آبخیزداری در خصوص باغ گردو (۵/۵۹)، گلابی (۲/۴۸) و گیلاس (۱/۸۶) دارای توجیه اقتصادی است (جدول ۳). به‌عبارت‌دیگر، افزون بر افزایش درآمد و بهبود معیشت روستاییان، عملیات آبخیزداری توانسته است با توسعهٔ درختان گردو (نیاز آبی کم)، منجر به افزایش آبدهی چشمه‌ها و قنات‌های پایین‌دست شود و به‌طور غیرمستقیم بر توسعهٔ اراضی کشاورزی منطقه مؤثر باشد.

- تولید چوب

اطلاعات مربوط به گونه‌های جنگلی و باغی موجود در زیرآبخیزها، در جدول ۴ ارائه شده است. مردم محلی در جنگل‌های دو زیرآبخیز به شیوه‌های مختلف از آبخیزهای جنگلی بهره می‌برند. چرای مفرط دام و تخریب‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (کت‌زدن و قطع درختان جنگلی و قطع نهال‌ها و سرشاخه‌های درختان برای مصارف کشاورزی و تهیهٔ داروا‌ش و تهیهٔ هیزم برای مصرف سوخت)، اثرات منفی قابل‌توجهی را در فرآیندهای اکولوژیکی ایجاد کرده‌اند. ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، کماکان مهم‌ترین عامل تخریب جنگل‌ها را حضور دام ذکر کرده‌اند (مطالعات آبخیزداری و مدیریت جامع، آبخیز چهل‌چای). به‌عبارت‌دیگر، دام‌ها با تغذیه از پوشش گیاهی، سرشاخه‌ها و نونهال‌های گونه‌های درختی، باعث حذف آن‌ها می‌شوند (Vandenberghe et al., 2007) و می‌توانند تأثیر عمده‌ای بر میزان و کیفیت گونه‌ها و تنوع آن‌ها داشته باشند (Sternberg et al., 2000). از سوی دیگر، باعث کاهش لاشبرگ و افزایش درصد خاک لخت، کوبیدگی و فشردگی خاک و درنتیجه کاهش نفوذ آب در خاک می‌شوند که نقش بسیار مهمی در عدم جوانه‌زنی و استقرار پوشش گیاهی ایفا می‌کند (Wassie et al., 2009). در این راستا اقداماتی مانند افزایش سطح اطلاعات عمومی و فرهنگ مردم و بهره‌برداران زیرآبخیز تیمار در ارتباط با اهمیت و ارزش منابع طبیعی، اجرای برنامه‌های آموزش و ترویج بهره‌برداری صحیح از جنگل و رویکرد مشارکتی مردم در منطقه صورت پذیرفت. زیرا تقویت مشارکت‌های مردمی نقش مهمی در حفظ، احیا، توسعه و نگه‌داری جنگل دارد. درمجموع، تولید چوب (موجودی) جنگل‌های دو زیرآبخیز تیمار و شاهد به‌ترتیب ۵۵۳ و ۱۷۷ مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۳). حجم و ارزش بازاری هر فرآورده برای دو زیرآبخیز تیمار و شاهد برآورد شد. هم‌چنین، علاوه بر جنگل‌ها و باغ‌های موجود در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، در اراضی رهاشده و کم‌بازده زیرآبخیز تیمار، فعالیت‌های باغی (گردو، گلابی و گیلاس) از سوی منابع طبیعی صورت پذیرفت. موجودی باغ‌های زیرآبخیز تیمار و شاهد به‌ترتیب ۱۱۵۰ و ۱۰۵۰ مترمکعب به‌دست آمد که پس از اجرای عملیات باغی، موجودی باغ‌ها به ۱۸۷۵ مترمکعب رسید (جدول ۳). به‌عبارت‌دیگر، فعالیت‌های آبخیزداری اجراشده بر میزان چوب تولیدی تأثیر مثبتی گذاشته است.

- برآورد زی‌توده

برای ارزشیابی زی‌توده در اراضی تحت اقدامات مدیریتی در مقایسه با سایر کاربری‌ها، از هر کاربری نمونه‌برداری شد. میانگین زی‌توده برای زیرآبخیز تیمار و شاهد به ترتیب ۱۶/۵۶ و ۱۵/۷۲ تن در هکتار ارزیابی شد. میانگین زی‌توده در جنگل‌های متراکم، کم‌تراکم و تخریب‌یافته زیرآبخیز تیمار به ترتیب برابر با ۴۸/۸۱، ۴۱/۳۸ و ۲۶/۹۶ تن در هکتار و در زیرآبخیز شاهد به‌ترتیب ۴۸/۶۸، ۴۰/۵۰ و ۲۵/۵۷ تن در هکتار به‌دست آمد (شکل ۳). در واقع جنگل‌ها با پوشش متراکم، بیش‌ترین میزان زی‌توده را به خود اختصاص داده‌اند و با کاهش پوشش درختی، میزان زی‌توده کاهش پیدا کرده است. حال آن‌که این نتیجه با نتایج Javadi Eskandari shahraki et al. و Tabalvandi et al. (2011) (2017) مطابقت داشت. هم‌چنین، میانگین زی‌توده در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد به‌ترتیب در باغ گردو (۱۳/۳۹ و ۱۲/۴۲ تن در هکتار) بیش‌تر از باغ سیب (۶/۶۱ و ۶/۴۰ تن در هکتار) و اراضی زراعی کشت‌شده با یونجه (۳/۸۸ و ۳/۴۴ تن در هکتار)، گندم (۳/۶۶ و ۳/۱۷ تن در هکتار)، عدس (۳/۴۱ و ۲/۸۳ تن در هکتار) و جو (۳/۴۱ و ۳/۱۱ تن در هکتار) است. هم‌چنین، سهم مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی شامل: باغ گردو (۶/۸۱ تن در هکتار) از نظر مقدار زی‌توده بیش‌تر از باغ گلابی (۵/۴۶ تن در هکتار) و باغ گیلاس (۵/۰۷ تن در هکتار) و اراضی تراس‌بندی‌شده با کشت یونجه (۴/۲۳ تن در هکتار)، گندم (۳/۸۸ تن در هکتار) و عدس (۳/۵۷ تن در هکتار) است. به‌عبارت‌دیگر، گونه‌های متفاوت نقش متفاوتی در فرآیند ترسیب کربن دارند. لذا، با اجرای اقدامات حفاظتی نظیر فعالیت‌های باغی، علاوه بر افزایش زی‌توده و بهبود معیشت جوامع بهره‌بردار، می‌توان پیامدهای منفی حاصل از فرسایش آبی و بادی را به حداقل رساند.

۳-۳- خدمات تنظیمی

- ترسیب کربن

میانگین ترسیب کربن کل برای زیرآبخیز تیمار و شاهد به ترتیب ۶۷/۹۵ و ۶۵/۳۸ تن در هکتار ارزیابی شد. در این بین، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ترسیب کربن به‌ترتیب مربوط به پوشش‌های جنگلی و اراضی زراعی شاهد است (شکل ۴). به‌عبارت‌دیگر، گیاهانی که دارای بافت چوبی بوده‌اند، از توانایی بیش‌تری در ترسیب کربن برخوردار بوده و هر چه نسبت اندام‌های چوبی و سطح تاج‌پوشش در گیاه بیش‌تر باشد، توان آن در ترسیب کربن افزایش می‌یابد (Indufor, 2002). به‌عبارت‌دیگر، جنگل‌ها با پوشش متراکم به‌عنوان فعال‌ترین آبخیز مطرح بوده و درنتیجه بیش‌ترین میزان ترسیب کربن را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج مطالعات مشابه توسط سایر محققان (Javadi Tabalvandi et al., 2011; Eskandari shahraki et al., 2017) نیز نشان می‌دهد که در بین پوشش‌های گیاهی مختلف، جنگل‌های انبوه با پوشش متراکم درختی بیش‌ترین مقدار ترسیب کربن را به خود اختصاص داده‌اند که با یافته‌های پژوهش حاضر، هم‌خوانی داشت. هم‌چنین، بیش‌ترین میزان ترسیب کربن در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد، به‌ترتیب مربوط به جنگل‌های متراکم (۱۴۱/۳۶، ۱۴۰/۲۳ تن در هکتار)، کم‌تراکم (۱۱۷/۷۱، ۱۱۶/۱۴ تن در هکتار)، تخریب‌یافته (۸۹/۲۲، ۸۳/۹۷ تن در هکتار) و باغ‌های گردو (۶۲/۲۹، ۶۱/۰۲ تن در هکتار) و سیب (۵۲/۰۶، ۵۱/۴۰ تن در هکتار) و اراضی زراعی کشت‌شده با یونجه (۴۸/۲۵، ۴۷/۲۰ تن در هکتار)، گندم (/۴۵، ۴۵/۰۱ تن در هکتار)، عدس (۴۴/۴۸، ۴۴/۰۸ تن در هکتار) و جو (۴۳/۶۲، ۴۳/۱۱ تن در هکتار) است (شکل ۴). هم‌چنین، میزان ترسیب کربن در مکان‌های تحت اقدامات مدیریتی شامل: باغ‌های گردو (۵۹/۳۶ تن در هکتار) بیش‌تر از باغ‌های گلابی (۵۵/۲۳ تن در هکتار)، و گیلاس (۵۳/۸۹ تن در هکتار) و اراضی تراس‌بندی با کشت یونجه (۵۰/۳۷ تن در هکتار)، گندم (۴۶/۵۰ تن در هکتار) و عدس (۴۴/۸۸ تن در هکتار) است. لذا با توجه به تنزل پوشش طبیعی منطقه، اجرای اقدامات آبخیزداری به‌منظور کاهش تخریب، بهبود حیات آبخیزها و افزایش ترسیب کربن در منطقه ضرورت دارد.

- برآورد فرسایش با مدل USLE

میانگین فرسایش خاک برای دو زیرآبخیز تیمار و شاهد به‌ترتیب ۱۰/۸۸ و ۹/۲۳ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۵). با حذف کاربری جنگل به‌عنوان محافظی مؤثر برای خاک و جایگزینی زمین‌های کشاورزی و اراضی کم‌بازده، تغییرات زیرآبخیزها به سمت افزایش فرسایش خاک داشت. به‌عبارت‌دیگر، پوشش‌های جنگلی بیش‌ترین نقش را در کاهش فرسایش و نگهداشت خاک در آبخیز بر عهده دارند (Martinez et al., 2009). از طرفی، هرچند با اعمال اقدامات مدیریتی و تغییر الگوی کشت در اراضی کم‌بازده زیرآبخیز تیمار، میانگین فرسایش نسبت به شاهد در اراضی زراعی کاهش‌یافته است، که بازگوکننده نقش مهم برنامه‌ریزی در حفظ منابع خاک است، اما نسبت به اراضی جنگلی نقش کم‌تری را در حفظ خاک ایفا می‌کند. با این‌حال، سطح پوشش گیاهی (فعالیت‌های باغی و اراضی تراس‌بندی‌شده با کشت محصولات زراعی) در اراضی شیب‌دار زیرآبخیز تیمار با اجرای اقدامات آبخیزداری افزایش پیدا کرده است. ضمن اینکه، با افزایش پوشش گیاهی در منطقه، میزان فرسایش نیز در مقایسه با اراضی شاهد کاهش‌یافته است. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Yushanjiang et al. (2018)، Darabi et al. (2019) و Meshesha and Birhanu (2015) مبنی بر اثر مثبت اقدامات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و افزایش پوشش گیاهی هم‌خوانی داشت. ضمن این‌که، نتایج تحلیل واریانس نشان داد اثر اقدامات آبخیزداری از نظر مهار فرسایش خاک در بین کاربری‌های مختلف دو زیرآبخیز تیمار و شاهد در سطح پنج درصد (p=۰/۰۵) معنی‌دار است (جدول ۴). در این بین، بیش‌ترین تأثیر اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش به ترتیب مربوط به باغ گردو (۴/۰۵ تن در هکتار در سال)، باغ‌های گلابی (۵/۱۸ تن در هکتار در سال) و گیلاس (۵/۴۴ تن در هکتار در سال) و اراضی تراس‌بندی شده با کشت یونجه (۹/۰۰ تن در هکتار در سال)، گندم (۹/۷۶ تن در هکتار در سال) و عدس (۹/۹۷ تن در هکتار در سال) است. با توجه به نتایج، میزان فرسایش خاک در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری نسبت به قبل از اقدامات کاهش داشته است که نشان‌دهندهٔ اثر مثبت این عملیات است.

- ارتفاع رواناب

بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ بافت خاک، کاربری‌های اراضی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد در گروه هیدرولوژیکی C قرار می‌گیرند، که از لحاظ تولید رواناب دارای پتانسیل بالایی است. سپس، بر اساس مقادیر به‌دست آمده از CN و معادلات تجربی، ارتفاع رواناب در بخش‌های مختلف زیرآبخیزها به‌دست آمد (جدول ۶). با توجه به نتایج، اراضی شهری بیش‌ترین میزان تولید رواناب یعنی ۴۷/۹۶ میلی‌متر را دارد. هم‌چنین، کاربری با زراعت دیم (۲۰/۷۸ میلی‌متر)، کشت غلات روی خطوط تراز (۱۷/۱۶ میلی‌متر)، کشت بقولات روی خطوط تراز با تناوب علوفه (۱۴/۹۸ میلی‌متر)، اراضی باغی (۴/۲۳ میلی‌متر)، جنگل با پوشش فقیر (۳/۲۵ میلی‌متر) و جنگل با پوشش خوب (۱/۳۵ میلی‌متر) به ترتیب بیش‌ترین میزان رواناب را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین، میانگین رواناب برای زیرآبخیز تیمار و شاهد به ترتیب

۱۴/۸۲ و ۱۸/۸۳ میلی‌متر به‌دست آمد. به‌عبارت‌دیگر، احداث باغ‌ها و اراضی تراس‌بندی با کشت محصولات زراعی در زیرآبخیز تیمار منجر به افزایش سطح پوشش گیاهی در اراضی شیب‌دار، تعدیل شیب و افزایش زمان تمرکز جریان سطحی و جذب بیش‌تر بارش‌ها و رواناب شده است. نتایج مطالعات مشابه توسط سایر محققان (Yushanjiang et al., 2018) اثربخشی مثبت اقدامات آبخیزداری را بر کاهش رواناب نشان می‌دهد. ارزیابی اقدامات انجام‌شده نشان داد تأثیر فعالیت‌های باغی روی کاهش رواناب بیش‌تر از تأثیر سایر عملیات است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود عملیات حفاظتی همانند فعالیت‌های باغی به‌دلیل نقش مؤثرتر بر کاهش رواناب، با حجم بیش‌تری روی اراضی شیب‌دار و رهاشدهٔ این زیرآبخیز انجام شود. ضمن این‌که، با تلفیق عملیات احداث باغ و کشت گیاهان یک‌ساله در فواصل بین درختان، نتایج بهتری حاصل خواهد شد.

۳-۴- خدمات فرهنگی

میزان آلفای کرونباخ[1] برای معیارهای ماندگاری و تعامل جوامع محلی، زیبایی‌منظر و جذب گردشگر و ارتقای دانش و ارزش‌های آموزشی به‌ترتیب ۰/۸۶، ۰/۸۸، ۰/۸۵ و ۰/۸۶ به‌دست آمد.

- افزایش ماندگاری جوامع محلی

بررسی مقایسه‌ای میانگین ارزشیابی پاسخگویان نسبت به شاخص‌های مطرح‌شده نشان داد که شاخص کاهش مهاجرت به خارج روستا با میانگین ۳/۶۶، دارای بیش‌ترین اهمیت از دیدگاه پاسخگویان است (جدول ۷). هم‌چنین، شاخص افزایش امنیت جوامع محلی (۳/۴۰) و افزایش مهاجرت به داخل روستا (۳/۲۴) در اولویت بعدی قرار گرفتند. ضمن اینکه نتایج حاصل از آزمون t (جدول ۶)، در خصوص شاخص‌های این معیار در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری را نشان داد ($p<0/05$). هم‌چنین در بررسی‌های انجام‌شده مشخص شده است که از میان عوامل مختلف تصمیم به مهاجرت روستاییان به‌سوی شهرها، یافتن شغل و تأمین درآمد و رفاه بیش‌تر از مهم‌ترین عوامل است. به‌عبارت‌دیگر، چنان‌چه در روستا امکان فعالیت‌های زراعی به‌عنوان منابع درآمد وجود نداشته باشد، روستاییان مهاجرت می‌کنند. دو نکتهٔ اصلی در این بررسی‌ها وجود دارد، نخست منابع عمدهٔ درآمد موجود در روستا باید متناسب با ساختار اقتصادی-اجتماعی روستا باشد (مانند زراعت و باغداری)، دیگر این‌که منابع درآمد روستا جوابگوی نیازهای مصرفی روستاییان باشد. دربارهٔ نکتهٔ اول باید گفت کشاورزی و بعضاً دام‌داری تنها منبع درآمدی است که با ساختار اقتصادی-اجتماعی روستا تناسب دارد و سایر منابع درآمد در روستا تنها به‌عنوان منابع ثانوی اهمیت دارند. در خصوص نکتهٔ دوم باید گفت نیاز روستاییان به کالاهای شهر، هزینه‌های روستا را افزایش داده است و این هزینه‌ها نیز به‌نوبهٔ خود نیاز روستاییان به درآمدهای نقدی را افزایش داده است. لذا، با مدیریت و برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات آبخیزداری در زیرآبخیز تیمار، ضمن تلاش در ایجاد تناسب درآمد روستاییان با ساختار اقتصادی-اجتماعی (مانند زراعت و باغداری)، در کاهش مهاجرت به خارج از روستا تأثیر داشته است. از سوی دیگر، اقدامات آبخیزداری سبب شده است که مردم این منطقه بیش‌تر از جانب اداره‌ها حمایت شوند. هم‌چنین جایگاه مستحکم‌تری به‌دست آورده و بیش‌تر در جامعه تأثیرگذار باشند. بر این اساس، همهٔ تصورات و احساسات آن‌ها متأثر از اقدامات آبخیزداری بود. به‌عبارت دیگر، روستاییانی که در روستا سکونت داشتند با بهبود شرایط، دیگر تمایلی به خروج از روستا از خود نشان ندادند، هرچند اثر اقدامات آبخیزداری به‌گونه‌ای نبوده است که مردم را مجاب به مهاجرت به داخل روستا کرده باشد.

- افزایش میزان ارتباطات جوامع محلی

بررسی مقایسه‌ای میانگین ارزشیابی پاسخگویان نسبت به شاخص‌های مطرح‌شده نشان داد که شاخص افزایش بهبود روابط (۳/۹۱) در مقایسه با کاهش درگیرها و نزاع جوامع محلی (۳/۶۳) میانگین بیش‌تری را به خود اختصاص داده است (جدول ۶). نتایج حاصل از آزمون t (جدول ۷) در خصوص شاخص‌های این معیار در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری را نشان داد ($p<0/05$). در واقع، فعالیت‌های آبخیزداری با استفاده از کارشناسان و مروجان منابع طبیعی، تسهیل‌گران، برگزاری دوره‌های آموزشی- ترویجی، دخیل کردن افراد در پروژه‌ها، استفاده از دانش بومی مردم منطقه، ایجاد حس اعتماد بین جوامع محلی و کارشناسان و میانجی‌گری بین افراد برای مشکلات به وجود آمده منجر به تعامل، همدلی و همیاری بیش‌تر اهالی روستا با یک‌دیگر شدند. به‌عبارت دیگر، اقدامات آبخیزداری بر روابط مردم این منطقه با دوستان و خانواده‌هایشان و هم‌چنین کاهش اختلافات میان آن‌ها تأثیر بسیار داشته است.

- افزایش زیبایی منظر و جذب گردشگر در منطقه

بررسی مقایسه‌ای میانگین ارزشیابی پاسخگویان نسبت به شاخص‌های مطرح‌شده نشان داد که افزایش زیبایی منطقه (۳/۷۳) میانگین بیش‌تری را نسبت به افزایش جذب گردشگر در منطقه (۳/۴۱) به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۶). ضمن این‌که نتایج حاصل از آزمون t (جدول ۷)، در خصوص شاخص‌های این

[1] Cronbach's

معیار در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری را نشان داد (۰/۰۵ >p). هم‌چنین، تحلیل دیدگاه آبخیزنشینان نشان داد که تغییرات زیبایی و جذب گردشگر در منطقه از اقدامات آبخیزداری تأثیر پذیرفته است. به‌عبارت‌دیگر، ازآن‌جایی‌که این اقدامات در بوم‌نظام‌های زراعی کم‌بازده و شیب‌دار و رهاشده زیرآبخیز تیمار اجرا شده، علاوه بر فضای ظاهری روستا از جمله فضای سبز و بهبود پوشش گیاهی منطقه، تثبیت خاک، جلوگیری از هدررفت آب و خاک، جلوگیری از گسترش اراضی بیابانی، بر سیمای سرزمین و جذب گردشگر مؤثر بوده است؛ به‌گونه‌ای که روستاییان برای ادامه دادن به اقدامات مشابه، تمایل نشان دادند.

- ارتقاء دانش و ارزش‌های آموزشی

بررسی مقایسه‌ای میانگین ارزشیابی پاسخگویان نسبت به شاخص‌های مطرح‌شده نشان داد که شاخص افزایش اعتماد به کارشناسان با میانگین ۴/۲۰، دارای بیش‌ترین اهمیت از دیدگاه پاسخگویان است (جدول ۷). شاخص افزایش آگاهی دانش گرورداران (۴/۱۸)، افزایش رعایت حقوق دیگران (۳/۸۶) و افزایش استفاده صحیح از منابع (۳/۷۴) در اولویت بعدی قرار گرفتند. ضمن این‌که نتایج حاصل از آزمون t (جدول ۶) در خصوص شاخص‌های این معیار در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری را نشان داد (p<۰/۰۵). در واقع، اقدامات آبخیزداری در زیرآبخیز تیمار با برگزاری جلسات و دوره‌های آموزشی و ترویجی، مدرسه در مزرعه و انتقال‌یافته‌ها، تهیه و توزیع بروشورهای ترویجی و مواردی از این قبیل، منجر به افزایش آگاهی و مهارت‌های جدید روستاییان، اعتماد بین جوامع محلی با یکدیگر و کارشناسان، مؤثر بر شیوه و کیفیت زندگی و عامل محرک و انگیزهٔ افراد برای احساس مسئولیت در قبال منابع طبیعی و استفادهٔ صحیح از منابع، آشنایی با برنامه‌های مدیریت حفظ آب و خاک و افزایش مشارکت و همکاری بین روستاییان و مسئولان ذی‌ربط شده است. به‌عبارت‌دیگر، اقدامات آبخیزداری سبب شده است که مردم منطقه به رعایت حقوق دیگران و دوری از نزاع بیش‌تر پایبند شوند و طرز استفادهٔ صحیح از منابع موجود در محیط‌زیست و منابع طبیعی را بیاموزند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اقدامات آبخیزداری بر سیستم دانش و ارزش‌های آموزشی در زیرآبخیز تیمار نیز تأثیرگذار بوده است.

۳-۵- نتایج به‌دست‌آمده از روش تاپسیس

نتایج حاصل از اجرای مدل تاپسیس در ارزشیابی اثر اقدامات مدیریتی بر زیرآبخیز تیمار حاکی از آن بود که پس از وزن‌دهی و مقایسهٔ اقدامات مدیریتی، باغ گردو اولویت نخست و باغ‌های گلابی و گیلاس و اراضی تراس‌بندی با کشت گیاه یونجه، گندم و عدس و برنامه‌های آموزشی- ترویجی اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به این نتایج، فعالیتی که در اولویت نخست قرار می‌گیرد، نتیجهٔ تعامل بین راه‌حل ایده‌آل مثبت و عکس ایده‌آل است. به‌عبارت‌دیگر، فعالیتی که در اولویت نخست قرار می‌گیرد ممکن است دارای کم‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و یا دارای بیش‌ترین فاصله از راه‌حل عکس ایده‌آل نباشد، بلکه با توجه به وضعیت فعالیت مدیریتی نسبت به هر دو ایده‌آل و تعامل بین آن‌ها در اولویت قرار می‌گیرد. این یکی از بارزترین و مهم‌ترین ویژگی اولویت‌بندی به روش تاپسیس است. ضمن این‌که، نتایج حاصل تلفیقی از اندازه‌گیری‌های مستقیم، مدل‌های علمی به‌کار گرفته شده و نظرات کارشناسان باتجربه با توجه به شرایط زیرآبخیز تیمار است که میزان خطای موجود در برنامه مدیریتی را به حداقل رسانده است.

جدول ۱- مکان و مجموع نقاط نمونه‌برداری هر کاربری در دو زیرآبخیز تیمار و شاهد

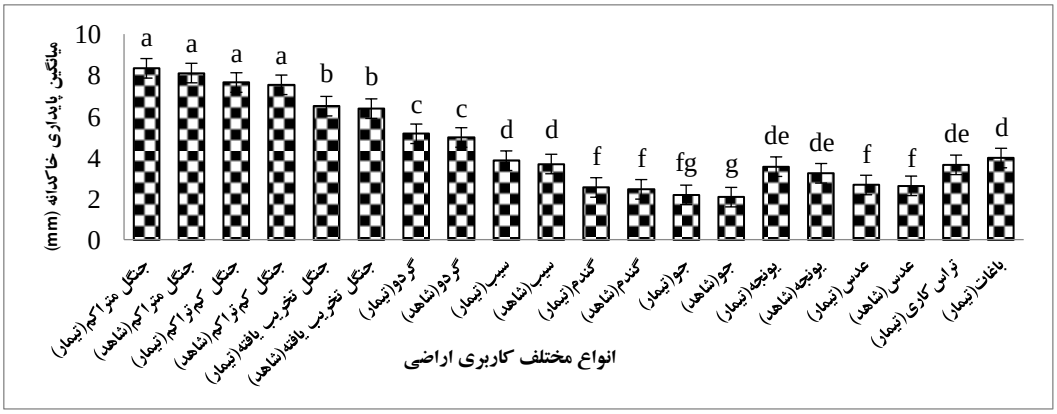
Table 1– Location and sum of samapling points of each land use in the two sub-watersheds of treatment and control

پوشش	توضیح	تیمار	شاهد
جنگلی	پرتراکم، کم‌تراکم و تخریب‌یافته	9	9
زراعی	گندم، جو، یونجه و عدس	12	12
باغات	گردو و سیب	6	6
تراس‌کاری	گندم، یونجه و عدس	9	-
باغات احداثی	گردو، گلابی و گیلاس	9	-
	مجموع	45	27

جدول ۲- عامل حفاظتی خاک (P)

Table 2- Soil protection factor (P)

درصد شیب	مقدار P	
	کشت روی خطوط تراز	تراس‌بندی
1- 2.1	0.6	0.6
2.1- 7	0.5	0.5
7.1- 12	0.6	0.6
12.1- 18	0.8	0.8
18.1- 24	0.9	0.9



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین شاخص پایداری خاک‌دانه در انواع مختلف کاربری اراضی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد (بر اساس آزمون دانکن)

Figure 2- Comparison of mean aggregate stability in different land covers of the treatment and control two sub-watersheds (based on the Duncan test)

جدول ۳- اطلاعات زراعی و باغی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد

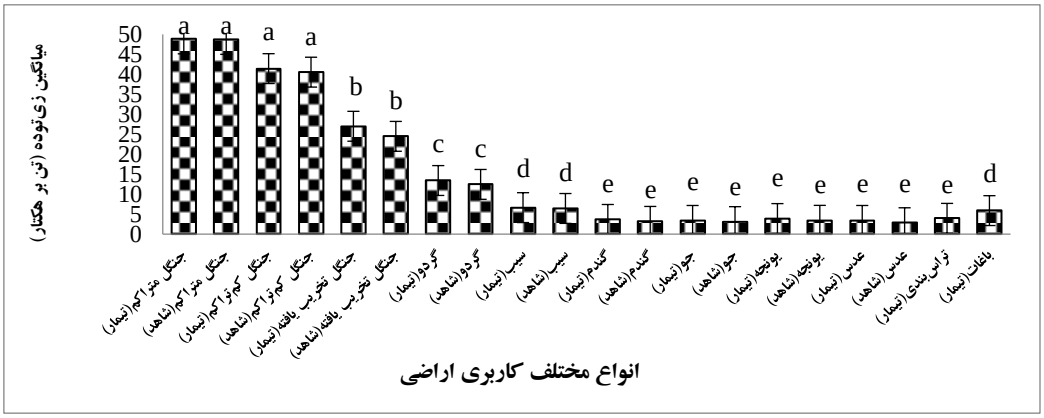
Table 3– Agricultural and horticultural information of the two sub-watersheds of treatment and control

موضوع	زیرآبخیز	فعالیت‌های باغی				محصولات زراعی			
		گیلاس	گلابی	سیب	گردو	عدس	یونجه	جو	گندم
مساحت (کیلوگرم بر هکتار)	شاهد	-	-	5.00	10.00	3.00	6.00	10.00	50.66
	تیمار	2.00	3.00	5.00	17.00	10.00	20.00	15.00	94.60
میانگین عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	شاهد	-	-	1500	1700	870	3500	2840	2800
	تیمار	1500	2000	1650	1850	1000	4000	2840	3000
هزینه (میلیون ریال)	تیمار	212.94	212.94	-	212.94	109.61	37.65	-	74.09
درآمد (میلیون ریال)	تیمار	397.06	529.41	-	1191.18	440.26	630.99	-	409.27
سود خالص (میلیون ریال)	تیمار	184.12	316.47	-	978.24	330.66	593.33	-	335.18
B.C		1.86	2.48	-	5.59	4.01	16.75	-	5.52

جدول ۴- اطلاعات تولید چوب دو زیرآبخیز تیمار و شاهد

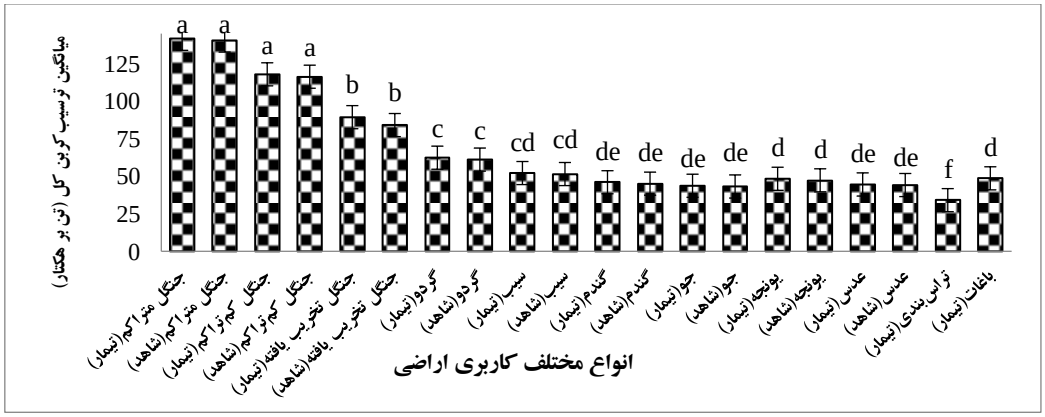
Table 4– Wood production information of the two sub-watersheds of treatment and control

موضوع	زیرآبخیز	فعالیت‌های باغی				گونه‌های جنگلی
		گیلاس	گلابی	سیب	گردو	
حجم کل فرآورده‌ها (m^3)	شاهد	-	-	450.00	600.00	177.00
	تیمار	102.00	210.00	480.00	1275.00	553.00
درآمد (میلیون ریال)	شاهد	-	-	615.600.000	4.0140.000.000	748.007.700
	تیمار	71.136.000	287.280.000	615.600.000	8.897.500.000	2.334.688.400



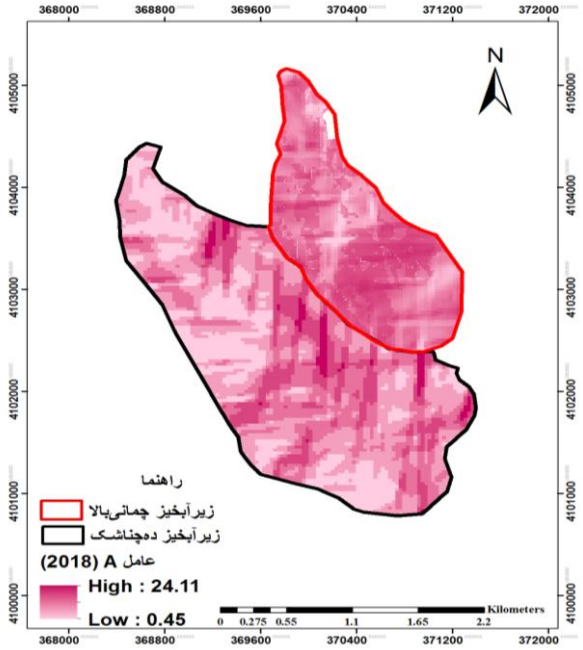
شکل ۳- مقایسهٔ میانگین شاخص زی‌توده در انواع مختلف کاربری اراضی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد (بر اساس آزمون Duncan)

Figure 3- Comparison of mean biomass in different land covers of the two sub-watersheds of treatment and control (based on Duncan test)



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین شاخص ترسیب کربن کل در انواع مختلف کاربری اراضی دو زیرآبخیز تیمار و شاهد (بر اساس آزمون Duncan)

Figure 4- Comparison of mean carbon sequestration in different land covers of the two of sub-watersheds treatment and control (based on Duncan test)



شکل ۵- نقشهٔ فرسایش خاک (تن در هکتار در سال) دو زیرآبخیز ده‌چناشک و چمانی‌بالا

Figure 5- Soil erosion map (ton/ha/yr) of the two sub-watersheds of treatment and control

جدول ۵- شمارهٔ منحنی و مساحت، مقادیر نگهداشت و ارتفاع رواناب در انواع مختلف کاربری‌های دو زیرآبخیز تیمار و شاهد

Table 5– Curve number and area, maintenance values and runoff height in different land covers of the two sub-watersheds of treatment and control

زیرآبخیز	نوع کاربری	شمارهٔ منحنی	مساحت (ha)	مساحت (%)	مقادیر نگهداشت (mm)	ارتفاع رواناب (mm)
تیمار	باغی	62	10.00	2.07	155.68	4.23
	کشت غلات روی خطوط تراز	78	54.01	11.16	71.64	17.16
	کشت بقولات روی خطوط تراز با تناوب علوفه	76	13.69	2.83	80.21	14.98
	اراضی جنگلی خوب	55	120.82	24.98	207.82	1.35
	اراضی جنگلی فقیر	60	193.74	40.05	169.33	3.25
	زراعت دیم	81	80.18	16.58	59.58	20.78
	مناطق مسکونی	96	11.30	2.34	10.58	47.96
شاهد	اراضی جنگلی خوب	55	111.99	49.18	207.82	1.35
	اراضی جنگلی فقیر	60	28.69	12.60	169.33	3.25
	زراعت دیم	81	84.63	37.16	59.58	20.78
	مناطق مسکونی	96	2.42	1.06	10.58	4796

جدول ۶- نتایج آزمون مقایسهٔ t مستقل و بررسی میانگین شاخص‌های خدمات فرهنگی

Table 6– The results of independent t-test and investigation of the means of cultural services indicators

معیار	شاخص	میانگین		آماره t	معناداری
افزایش ماندگاری جوامع محلی	افزایش امنیت جوامع محلی	3.41	3.40	6.82	0.04
	افزایش مهاجرت به داخل روستا		3.24	5.97	0.05
	کاهش مهاجرت به خارج از روستا		3.66	8.62	0.02
افزایش تعامل جوامع محلی	افزایش بهبود روابط	3.66	3.91	10.54	0.02
	کاهش درگیری‌ها و نزاع		3.63	8.41	0.05
افزایش زیبایی‌منظر و جذب گردشگر	افزایش زیبایی منطقه	3.80	3.73	9.01	0.00
	افزایش جذب گردشگر		3.41	6.98	0.05
ارتقای دانش و ارزش‌های آموزشی	افزایش آگاهی و دانش گرودارن	3.94	4.18	13.38	0.00
	افزایش اعتماد به کارشناسان		4.20	13.99	0.00
	افزایش رعایت حقوق دیگران		3.86	9.94	0.02
	افزایش استفادهٔ صحیح از منابع		3.74	9.12	0.03

جدول ۷- ماتریس تصمیم فعالیت‌های مدیریتی زیرآبخیز تیمار بر اساس مقادیر محاسبه‌شدهٔ شاخص‌های منتخب

Table 7– Decision matrix of management activities in the treatment sub-watershed based on the calculated values of selected indicators

فعالیت‌های مدیریتی	تنظیمی		حمایتی		تولیدی			فرهنگی			
	ترسیب کربن کل (ton.ha)	مهار فرسایش (ton.ha.y)	مهار رواناب (mm)	پایداری خاکدانه (mm)	زراعی و باغی (ton.ha)	زی‌توده (ton.ha)	چوب (m^3.ha)	ارتقای دانش و آموزش	افزایش ماندگاری	افزایش تعامل	افزایش زیبایی و جذب گردشگر
تراس‌بندی- گندم	46.50	9.76	17.16	2.63	3.00	3.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
تراس‌بندی- یونجه	50.37	9.00	14.98	3.10	4.00	4.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
تراس‌بندی- عدس	44.88	9.97	14.98	2.40	1.00	3.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
باغ گردو	59.36	4.05	4.23	5.48	0.50	6.81	225.00	0.00	0.00	0.00	0.00
باغ گلابی	55.23	5.18	4.23	4.86	2.00	5.46	210.00	0.00	0.00	0.00	0.00
باغ گیلاس	53.89	5.44	4.23	4.26	1.50	4.27	102.00	0.00	0.00	0.00	0.00
آموزشی- ترویجی	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.94	3.41	3.80	3.66

جدول ۸- اولویت‌بندی فعالیت‌های مدیریتی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل TOPSIS

Table 8– Prioritization of management activities based on the results obtained from the TOPSIS model

فعالیت‌های مدیریتی	روش‌های مختلف وزن‌دهی						
	نظرات کارشناسی	آنتروپی شانون	اولویت یکسان	اولویت با خدمات حمایتی	اولویت با خدمات تنظیمی	اولویت با خدمات تولیدی	اولویت با خدمات فرهنگی
تراس‌بندی- گندم	4	5	5	5	5	5	6
تراس‌بندی- یونجه	3	4	4	4	4	4	5
تراس‌بندی- عدس	4	6	6	6	6	6	7
باغ گردو	1	1	1	1	1	1	1
باغ گلابی	1	2	2	2	2	2	2
باغ گیلاس	2	37	3	3	3	3	3
آموزشی- ترویجی	5		7	7	7	7	4

۴- نتیجه‌گیری

پایش و ارزشیابی اقدامات آبخیزداری انجام‌شده در آبخیزها از جنبه‌های گوناگون، برای بخش‌های مختلف اجرایی و تحقیقاتی منابع طبیعی کشور بسیار مهم و ضروری است. با توجه به پیامدهای متعدد تخریب آبخیزها که امروزه به یک چالش بزرگ در سطح جهان تبدیل شده است، در بسیاری از کشورها به‌ویژه کشورهای توسعه‌یافته و در حال‌توسعه، کارشناسان و محققان در تلاش هستند تا در رسیدن به شیوه‌های مؤثر و علمی در کاهش تخریب آبخیزها، از یک‌دیگر سبقت بگیرند. حتی نهادهای بین‌المللی، کشورهای جهان سوم را از طریق اعطای تسهیلات و کمک‌های مالی برای تحقق این امر تشویق می‌کنند. بر این اساس، در شمال‌شرق کشور، به‌منظور کاهش نرخ تخریب و بهبود شرایط آبخیز چهل‌چای، اقدامات آبخیزداری متعددی در تعدادی از زیرآبخیزهای این آبخیز صورت گرفته است. یکی از این زیرآبخیزها که در آن پروژه‌های متنوعی اجراشده، زیرآبخیز ده‌چناشک است. لذا، این زیرآبخیز به‌عنوان زیرآبخیز تیمار و زیرآبخیز چمانی‌بالا (فاقد اقدامات آبخیزداری) که در مجاورت زیرآبخیز ده‌چناشک قرارگرفته و دارای شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی مشابه است، به‌عنوان زیرآبخیز شاهد انتخاب شدند. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزشیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر خدمات زیرآبخیز تیمار در مقایسه با شاهد، به‌منظور رسیدن به یک تصمیم مدیریتی مناسب انجام شد. اقدامات آبخیزداری انجام‌شده شامل اراضی تراس‌بندی با کشت محصولات زراعی (گندم، یونجه و عدس)، احداث باغ‌ها (گردو، گلابی و گیلاس) و برنامه‌های آموزشی- ترویجی است. تنوع اقدامات و اثربخشی‌های متفاوت آن‌ها، انتخاب روشی را که از جنبه‌های مختلف بهینه باشد به یک چالش مدیریتی تبدیل و اولویت‌بندی اقدامات را ضروری کرده است. بر این اساس، ابتدا کمی‌سازی خدمات دو زیرآبخیز تیمار و شاهد صورت گرفت، سپس با استفاده از روش تاپسیس، اقدامات آبخیزداری اولویت‌بندی و اقدام بهینه مشخص شد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که عملیات آبخیزداری تأثیر مهمی بر بهبود خدمات آبخیز دارد و می‌تواند به‌عنوان راهکار مهمی در کاهش تخریب آبخیزها مطرح شود. ازاین‌رو حفظ و گسترش پوشش گیاهی از طریق انجام اقدامات مدیریتی، به‌دلیل این‌که نقش مؤثری در حفاظت منابع و افزایش تولید در منطقه دارد، امری ضروری و مهم است. قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری، بخشی از اراضی شیب‌دار فاقد پوشش گیاهی و بعد از اجرای اقدامات، سطح پوشش گیاهی در زیرآبخیز تیمار افزایش و در زیرآبخیز شاهد، حتی با فرض عدم کاهش پوشش گیاهی، مقدار آن ثابت باقی‌مانده است. به‌عبارت دیگر، اقدامات آبخیزداری با افزایش سطح پوشش گیاهی منجر به جذب بیش‌تر بارش‌ها، کاهش رواناب و فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار و افزایش زیبایی‌منظر و با برگزاری دوره‌های آموزشی— ترویجی باعث بهبود سطح مشارکت و روابط آبخیزنشینان و افزایش درآمد خانوارها شده است. هم‌چنین، نتایج پژوهش نشان داد که از بین اقدامات انجام‌شده، فعالیت‌های باغی (کاشت درختان گردو) بیش‌ترین موفقیت را داشته است و در صورت اعمال اقدامات تکمیلی و گسترش آن می‌توان ضریب موفقیت را به حد مطلوب‌تری ارتقاء داد. نتایج مبین این مطلب است که اقدامات آبخیزداری از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه و توسط مردم قابل انجام است. بنابراین، به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب و خاک و اثربخشی بیش‌تر اقدامات آبخیزداری بر بهبود خدمات آبخیز چهل‌چای و هم‌چنین به‌عنوان یک الگوی مؤثر و بهینه، فعالیت‌های باغی به همراه کشت گیاهان علوفه‌ای یا دارویی در فواصل بین درختان پیشنهاد می‌شود. ضمن این‌که، به‌دلیل عدم وجود سیستم ارزشیابی مناسب، تاکنون قادر به ارائهٔ نتایج فعالیت‌ها به‌صورت کمی نشده است و بخش تحقیقات نیز اقدام عملی نتیجه‌بخشی در این زمینه انجام نداده است. البته اقدامات پراکنده‌ای در خصوص ارزشیابی شاخص‌های مطرح در

آبخیزداری در برخی آبخیزها انجام‌شده است. بر این اساس، می‌توان اذعان کرد معیارها، شاخص‌ها و شیوه‌های مورد استفاده در این پژوهش برای کمی‌سازی اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر خدمات آبخیز می‌تواند در تدوین شیوه‌نامه یا دستورالعمل پایش و ارزشیابی اقدامات آبخیزداری و هم‌چنین در زیرآبخیزهای با شرایط مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از رسالهٔ دورهٔ دکتری آبخیزداری تحت عنوان "اثر اقدامات اصلاحی بر خدمات آبخیز چهل‌چای، استان گلستان، ایران" دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان بوده است که به این وسیله تشکر می‌شود.

منابع

اسدالهی، ز.، سلمان‌ماهینی، ع.، میرکریمی، س.ح.، و عظیمی، م. (۱۳۹۴). مدل‌سازی خدمات آبخیزی نگهداشت خاک با نرم‌افزار InVEST، (مطالعهٔ موردی: بخش شرقی حوزهٔ آبخیز گرگان‌رود). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۵ (۱۹)، ۶۱-۷۵.

اسکندری‌شهرکی، آ.، کیانی، ب.، و ایرانمنش، ی. (۱۳۹۵). تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر ترسیب کربن خاک. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۴ (۳)، ۳۷۹-۳۸۹.

امیرنژاد، ح.، و عطائی‌سلوط، ک. (۱۳۹۶). برآورد ارزش اقتصادی کارکرد تنظیم گاز توسط اکوسیستم مرتعی پارک ملی بمو، مطالعهٔ موردی: تثبیت گاز دی‌اکسید کربن و عرضهٔ اکسیژن. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۸ (۱۵)، ۱۹۳-۲۰۲.

پارساپور، م.ک.، سهرابی، ه.، سلطانی، ع.، و ایرانمنش، ی. (۱۳۹۲). روابط آلومتریک به‌منظور برآورد زی‌تودهٔ چهار گونهٔ صنوبر در استان چهارمحال و بختیاری. *فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۱ (۳)، ۵۱۷-۵۲۸.

جعفری، ز.، نیک‌نهاد قره‌ماخر، ح.، قاسمی، م.، و جعفری، ع. (۱۳۹۶). بررسی اثرات بهینه‌سازی کاربری اراضی بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص فرسایش‌پذیری آن در مراتع آوارد. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۴(۱)، ۸۰-۸۸.

جوادی طبالوندانی، م.ر.، زهتابیان، غ.ر. ، احمدی، ح. ،ایوبی، ش.ا.، جعفری، م.، و علیزاده، م. (۱۳۸۹). نقش کاربری‌های مختلف در میزان ترسیب کربن خاک (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز نومه‌رود شهرستان نور). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، ۱ (۲)، ۱۵۶-۱۶۶.

دارابی، م.، قره‌داغی، ح.، و نجابت، م. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبخیزداری بر میزان فرسایش و حمل رسوب در آبخیزهای آبخیز سد سیوند، استان فارس. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۴، ۱۹۷-۲۱۸.

شهرکی، م.، غلامی‌باقی، ن.، شرافتمندراد، م.، و بهمنش، ب. (۱۳۹۴). نگرش و اولویت‌های بهره‌برداران نسبت به ارزش و خدمات مراتع (مطالعهٔ موردی: مراتع هزارجریب، مازندران، ایران). *علوم مراتع*، ۵(۳)، ۲۱۲-۲۲۱.

فائو، (۲۰۰۲). کشاورزی در جهان، به سوی ۲۰۳۰-۲۰۱۵، (ترجمهٔ هومن فتحی). انتشارات مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.

قنبری، ی.، و قدوسی، ج. (۱۳۸۷). بررسی اثرات اجتماعی و اقتصادی فعالیت‌های آبخیزداری بر خانوارهای روستایی در حوزهٔ آبخیز تنگ خشک (شهرستان سمیرم). *علوم‌انسانی*، ۲۹(۱)، ۱۹۵-۲۰۴.

کبیری‌هندی، م.، میرکریمی، س.ح.، و سلمان‌ماهینی، ع. (۱۳۹۹). ارزیابی خدمات فرهنگی اکوسیستم در استان گلستان. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۵(۲)، ۲۵۶۰-۲۵۶۸.

کریمی، ز.، و شیخ، و.ب. (۱۳۹۸). ارزیابی نگرش آبخیزنشینان به طرح‌های منابع طبیعی و محیط‌زیست، مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز حبله‌رود. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱(۲)، ۴۶۷-۴۷۷.

کریمی، ز.، شیخ، و.، سعدالدین، ا.، و مبرقعی دینان، ن. (۱۴۰۰). ارزشیابی اقدام‌های آبخیزداری از نظر ترسیب‌کربن زیتوده و دیدگاه آبخیزنشینان در مورد بهبود وضعیت آبخیز (مطالعهٔ موردی: زیرآبخیز ده‌چناشک- حوزهٔ آبخیز چهل‌چای). *علوم محیطی*، ۱۹(۳)، ۲۱۷-۲۳۶.

مشاری، م.، سپهری، ع.، بارانی، ح.، و دانه‌کار، ا. (۱۳۹۸). طراحی معیارها و شاخص‌های اندازه‌گیری ارزش‌گذاری خدمات فرهنگی اکوسیستم بر اساس مختصات بومی ایران. *نقشهٔ جهان*، ۹(۴)، ۳۰۵-۳۱۲.

References

Amirnejad, H., & Ataei soluk, k. (2018). Estimation of economic value of gas regulation function by Bemo National Park rangeland ecosystem, Case Study: Carbon Dioxide Stabilization and Oxygen Supply. *Environmental Research*, 8 (15), 193- 202 (in Persian).

An, S.S., Darboux, F., & Cheng, M. (2010). Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China). *Geoderma*, 209-210(2), 75-85.

Asadollahi, Z., Salman Mahini, A., Mirkarimi, S., & Azimi, M. (2016). Modeling of soil conservation watershed services with InVEST software (Case study: Eastern part of Gorganrood watershed). *Environmental Erosion Research*, 5 (19), 61- 75 (in Persian).

Bagarello, V., & Sgroi, A. (2004). Using the single-ring infiltrometer method to detect temporal changes in surface soil field-saturated hydraulic conductivity. *Soil Till Research*. 76, 13–24.

Balazsi, A., Danhardt, J., Collins, S., Schweiger, O., Settele, J., & Hartel, T. (2020). Understanding cultural ecosystem services related to farmlands: Expert survey in Europe. *Land Use Policy*, 100, 1-9.

Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K.E., & Mooney, H.A. (2007). The nature value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 21 (32), 67-98.

Brown, G., Montag, J.M., & Lyon, K. (2012). Public participation GIS: A method for identifying ecosystem services. *Society and Natural Resource*, 25 (7), 633-651.

Bronick, G.J., & Lal, R. (2005). Manuring and rotation effect on soil organiccarbon concentration for different aggregate size fractions on two soils northeastern Ohio, USA. *Soil and Tillage Research*, 81, 239-252.

Celik, I. (2005). Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 83, 270-277.

Dai, X., Johnson, B.A., Luo, P., Yang, K., Dong, L., Wang, Q., Liu, Ch., Li, N., Lu, H., Ma, L., Yang, Zh., & Yao, Y. (2021). Estimation of urban ecosystem services value: A case study of chengdu, southwestern China. *Remote Sensing*, 13 (207), 1-24.

Darabi, M., Gharehdaghi, H., & Nejabat, M. (2019). Evaluation of the performance of watershed management projects on the rate of erosion and sediment transport in the watersheds of Sivand Dam, Fars province. *Hydrogeomorphology*, 14, 197- 218 (in Persian).

Eskandari Shahraki, A., Kiani, B., & Iranmanesh, Y. (2017). The effect of different land uses on soil carbon sequestration. *Iranian Forest and Poplar Research*, 24 (3), 379- 389 (in Persian).

FAO, (2002). Agriculture in the world, towards 2030-2015. Publications of Research Planning and Agricultural Economics Research Institute, Tehran, Iran.

Ghanbari, Y., & Ghodusi, J. (2008). Investigation of social and economic effects of watershed management activities on rural households in Tang khoshk Watershed (Semirom city). *Human Sciences*, 29 (1), 195- 204 (in Persian).

Hargreaves, K.J., Milne, R., & Cannell, M. (2003). Carbon balances of afforested peatland in Scotland. *Journal of Forestry*, 76 (3), 299-318.

Heal, G.M., Barbier, E.B., Boyle, K.J., Covich, A.P., Gloss, S.P., Hershner, C.H., Hoehn, J.P., Pringle, C.M., Polasky, S., Segerso, K., & Schrader- Frechette, K. (2005). *Valuing ecosystem services. toward better environmental Decision- making.* The National Academies Press, Washington, D.C.

Herrick, J.E., Whitford, W.G., De Soyza, A.G., Van Zee, J.W., Havstad, K.M., Seybold, C.A., & Walton, M. (2001). Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44 (1), 27–35.

Indufor. (2002). Assessing Forest Based carbon sinks in the Kyoto protocol Forest Management and Carbon sequestration. *Discussion paper*, 115 pages.

Jaiyeoba, I.A. (2003). Changes in soil properties due to continu- ous cultivation in Nigerian semiarid savannah. *Soil and Tillage Research*, 70, 91–98.

Jafari, Z., Niknahad gharehmakher, H., Ghasemi, M., & Jafari, A. (2018). Investigation of the effects of land use optimization on some physical and chemical properties of soil and its erodibility index in Avard rangelands. *Iranian Range and Desert Research*, 24 (1), 80-88 (in Persian).

Javadi Tabalvandi, M.R., Zehtabian, G.h., Ahmadi, H., Ayobi, Sh.A., Jafari, M., & Alizadeh, M. (2011). The role of different land use in soil carbon sequestration (Case study: Nomehroud watershed of Noor city). *Natural Ecosystems of Iran*, 1(2), 156- 166 (in Persian).

Kabiri Hendi, M., Mirkarimi, S.H., & Salmanmahiny, A. (2021). Cultural ecosystem services assessment in Golestan Province. *Environmental Sciences Studies*, 5(2), 2560-2568 (in Persian).

Karimi, Z., & Sheikh, V.B. (2020). Evaluation of the attitude stakeholders' of natural resources and environment projects (Case Study: Hablehroud Watershed). *Watershed Engineering and Management*, 11(2), 467-477 (in Persian).

Karimi, Z., Sheikh, V., Sadoddin, A., & Mobarghaee Dinan, N. (2022). Evaluation of watershed management interventions on biomass carbon sequestration and stakeholders' perception about watershed condition improvement (case study: Dehchenashk sub-watershed, Chehl Chai watershed). *Environmental Sciences*, 19 (3), 217- 236 (in Persian).

Komiyama, A., Ong, J.E., & Poungparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89 (2), 128–137.

Logsdon, R.A., & Chaubey, I. (2013). A quantiative approach to evaluating ecosystem servise. *Ecological Modelling*, 257, 57-65.

Luederitz, Ch., Brink, E., Gralla, F., Hermelingmeier, V., Meyer, M., Niven, L., Panzer, L., Partelow, S., Rau, A., Sasaki, R., Abson, D.A., Lang, D.J., Wamsler, Ch., & Wehrden, H. (2015). A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research. *Journal of Ecosystem Services*, 14, 98-112.

Martinez, M.L., Perez-Maque, O., Vazquez, G., Castillo-Campos, G., Garcia-Franco, J., Mehltreter, K., & Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical in montane

cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258 (9), 1856-1863.

MacDicken, K.G. (1977). *A guide to monitoring carbon storage in foresty and agroforesty projects*. Winrock International for Agricultral Development, Forest Carbon Monitoring Program, 87 pages.

McCool, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R., Mutchler, C.K., & Meyer, L.D. (1997). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 30 (5), 1387-1396.

Meshesha, Y.B., & Birhanu, B.S. (2015). Assessment of the effectiveness of watershed management intervention in Chena Woreda, Kaffa Zone, southwestern Ethiopia. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 1257-1269.

Moshari, M., Sepehri, A., Barani, H., & Danehkar, A. (2020). Formulating the Criteria and Indexes for Valuation of Cultural Services of Natural Ecosystems on the Basis of Endemic Characteristics of Iran. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 9(4) 305-312 (in Persian).

Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). Total carbon , organic, organic metter. Pp. 539- 580, In: Miller, A.L., Kenney, R.H. (Eds,), *Methods of Soil Analysis.* Part 1, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Parsapour, M.K., Sohrabi, H., Soltani, A., & Iranmanesh, Y. (2014). Allometric equations for estimating biomass in four poplar species at Charmahal and Bakhtiari province. *Forest and Poplar Research*, 21 (3), 528-517 (in Persian).

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C. (1997). *Predicting soil erosion by water: Aguide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703, USDA, Washington, DC, USA. 404.

Sabin, F.F. (1996). *Remote sensing, principal and interpretation*. 3rd Edition: W.H.Freman and company, New York, 494 pages.

Sadoddin, A., Sheikh, V., Mostafazadeh, R., & Halili, M.Gh. (2010). Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran, *International Journal of Plant Production*, 4 (1), 51-62.

Shahraki, M.R., Gholami bagheri, N., Sharat Madandar, M., & Bahmanesh, B. (2015). Pastures products and services, point of views and priorities of local (Case Study: Cashgarized Rangelands, Mazandaran Province, Iran). *Rangeland Sciences*, 5, 212-221 (in Persian).

Sternberg, M., Gutman, M., Perevolotsky, A., Ungar, E.D., & Kigel, J. (2000). Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: A functional group approach. *Journal of Applied Ecology*, 2, 224-237.

Subedi, B.P., Pandey, S.S., Pandey, A., Bahadur Rana, E., Bhattarai, S., Raj, Banskota, T., Charmakar, S., & Tamrakar, R. (2010). Asia network for sustainable agriculture and bio resources. Guidelines for measuring carbon stocks in community-managed forests. Federation of community forest users, Nepal, International Center for Integrated Mountain Development, Norwegian Agency for Development Cooperation, 16 pages.

Vandenberghe, C., Francois, F., Moravie, M.A., Gadallah, F., & Buttler, A. (2007). Short term effects of cattle browsing on tree sapling growth in mountain wooded pastures. *Plant Ecology*, 188, 253-264.

Wang, Z., Batelaan, O., & De Smedt, F. (2017). A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Physics and Chemistrt of the Earth*. 21, 189-193.

Wassie, A., Sterck, F.J., Teketay, D., & Bongers, F. (2009). Effect of livestock exclusion on tree regeneration in church forests of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 257, 765-772.

Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion. losses: a guide to conservation planning*. DA, Agriculture Handbook, Washington DC, GPO,US. 47 pages.

Yang, T., & Hung, C.C. (2007). Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. *Robotics and Computer Integrated*, 23, 126-137.

Yushanjiang, A., Zhang, F., Kung, H., & Li, Z.H. (2018). Spatial–temporal variation of ecosystem service values in Ebinur Lake Wetland National Natural Reserve from 1972 to 2016, Xinjiang, arid region of China. *Environmental Earth Sciences*, 77, 586.

Zhang, P., He, L., Fan, X., Huo, P., Liu, Y., Zhang, T., Pan, Y., & Yu, Zh. (2015). Ecosystem service value assessment and contribution factor analysis of land use change in Miyun county, China. *Sustainability*, 7, 7333-7356.