Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Assessment of soil and water resources in the Gando Protected Area

Jalil Badamfirooz[1]✉ | Leila Sharifi[2]

1.Corresponding author, Associate Professor, Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran.
E-mail: badam@rcesd.ac.ir
2. PhD in Agricultural Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Tehran University, Tehran, Iran.
E-mail: Leyla.sharifi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2021/07/30
Received in revised
2021/09/19
Accepted
2021/11/12
Published
2021/11/13
Published online
2025/05/21

Keywords:
WWPSS,
Economic Value,
Inflation,
Invest.

ABSTRACT

By assessing the functions and ecosystem services of protected areas, planners and decision-makers of land use planning and sustainable development at the regional and national levels can be of great help. The present study specifically assesses the water and soil resources in the Gandu Protected Area and the economic valuation of these services. In order to model the ecosystem services of water balance, soil conservation and water quality, the hydrological model based on WWPSS remote sensing data was used. The simulation was carried out using a series of one-degree square mosaic images (one hectare) on a monthly scale. The Invest model and the replacement cost method were also used for economic valuation. The results showed that the total water produced in this area is 401,205,344 cubic meters per year. Also, the minimum, maximum and average water budgets are all negative and are equal to -1492.76, -38.04 and -639.24 mm per year respectively, which indicates a lack of rainfall and intense evaporation and transpiration in this region. The average potential pollution of surface water is 4.5% and this region prevents 2 tons per hectare of soil erosion annually. The real economic value of water production and soil conservation is estimated to be 20.18%, 67.54 and 2729.65 billion rials in 2019, respectively, with inflation correction. Three scenarios with discount rates (compound) of 8, 12 and 15% were used in the periods of 5, 10, 15 and 30 years to determine the economic value of the functions of these resources in the future. The results showed that, for example; With a discount rate of 15% and over a period of 30 years, the economic value of the water production and soil conservation functions reaches 4471.82 and 180730.13 billion rials, respectively. In total, the economic value of the water production and soil conservation functions is 0.35 and 14.17 percent of the total value of the region.

Cite this article: Badamfirooz, Jalil., & Sharifi, Leila. (2025). Assessment of soil and water resources in the Gando Protected Area. Journal of *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (77), 466-483. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.7

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.7

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Protected areas represent one of the most effective strategies for the conservation of biodiversity and natural resources. Many protected areas function as natural reservoirs for the production of agricultural products and water, as well as for soil conservation (Laura and Paulo, 2020, pp. 212-220). In 1992, protected areas accounted for a mere 4% of the global surface area. However, by 2019, data from the World Database on Protected Areas and the Protected Planet reports indicated that the number of protected areas worldwide had increased to approximately 218,320, encompassing an area of 20.9 million km², which is equivalent to 15.9% of the Earth's total land and water surface areas (Mahmud et al., 2019, pp. 200-212). Consequently, the evaluation and prediction of the status of protected areas, based on the levels of ecosystem services they provide, pose significant challenges for managers and specialists in the field. This research evaluates the status and functions of water resources and examines the extent of soil erosion within the Gando Protected Area located in the Sistan and Baluchestan Province of Iran. Broadly classified, this protected area includes rivers and basins that serve as habitats for marsh crocodiles (also referred to as mugger crocodiles), coastal lands along the Iranian coastline of the Oman Sea that provide habitats for mangrove forests and breeding sites for various bird and sea turtle species, as well as mountains and highlands in the northern, northeastern, and eastern regions, alongside lowlands in the central and southern areas. This study presents a practical and effective strategy for achieving sustainable development within the Gando Protected Area..

Material and Methods

The Gando Protected Area, encompassing an area of 465,181 km² and situated at latitude 25º03'33"-26º16'17"N and longitude 61º09'44"-61º53'36"E, is located in the extreme southeastern corner of Iran's Baluchestan, along the Iran-Pakistan border. The WaterWorld Policy Support System (WWPSS) model was employed to assess several ecosystem services provided by this protected area, including water balance, soil conservation, and the mitigation of further degradation in water quality. The WWPSS is a process-oriented hydrological model that utilizes remote sensing data and is applicable across various spatial scales (Mulligan and Bruk, 2005, pp. 41-53). For the economic valuation of water production and soil conservation, the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) model, in conjunction with the replacement cost method, was utilized. The economic values associated with water production and soil conservation were calculated using data derived from the WWPSS model as input.

Results and Discussion

According to the output of the WWPSS model, the minimum, maximum, and mean annual precipitation in the Gando hydrologic unit are recorded as 0.01, 229.45, and 126.18 mm, respectively. The mean annual precipitation is nearly 50% lower than the mean annual precipitation in Iran (250 mm), indicating a significant precipitation deficit in the study region. On average, the annual mean, minimum, and maximum water budgets of the

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

ecosystem in the study area are -499.26, -1492.76, and 92.15 mm, respectively. This indicates that the entire hydrologic unit experiences a water shortage due to a high evapotranspiration rate and a limited amount of precipitation. Consequently, this hydrologic unit possesses a negative water budget and is confronting a state of water bankruptcy. The calculation of the water volume produced by the studied hydrologic unit, based on the volume of runoff as the cumulative water budget downstream, reveals that the annual minimum, mean, and maximum volumes of runoff produced in the Gando hydrologic unit are 0, 408,147.79, and 401,205,344 m^3, respectively .In 2019, the estimated value of water resources in the Gando Protected Area was 67.54 billion Iranian Rials, which constituted 0.35% of the total value of this Protected Area, as reported in the economic valuation of the goods and ecosystem services (the "products") that the Gando Protected Area provides. Additionally, the total value of soil conservation is estimated at 2729.65 billion Iranian Rials, accounting for 14.17% of the overall value of the Protected Area. The current net value of the capacity to produce water and conserve soil, after adjusting for inflation and considering various discount rates (8%, 12%, and 15%) over future periods of 5 to 30 years, suggests that the economic values of water production and soil conservation will increase in subsequent years. Specifically, the net value of soil conservation over the next 30 years, at discount rates of 8%, 12%, and 15%, is projected to be 27,460.28, 81,780.31, and 180,730.13 billion Iranian Rials, respectively. Furthermore, regarding water production in the Gando Protected Area at the same discount rates, the net value of water production over the next 30 years is anticipated to reach 679.45, 2023.5, and 4471.82 billion Iranian Rials. Therefore, from an economic perspective, the estimated values continue to ascend despite accounting for annual inflation rates and the discount rates of economic value in estimating the current net value, as well as the neutralizing effects that these two factors have on each other.

Conclusion

Considering the direction of water flow from upstream to downstream, it appears that a significant proportion of pollution is concentrated at the terminal sink end member of the Gando hydrologic unit, as well as at the juncture where water exits this hydrologic unit and enters the marine component of this Protected Area. Nevertheless, despite the heightened potential for downstream pollution, the observed differences in mean pollution potential between the hydrologic unit and the Protected Area are minimal, approximately 1.5%. This observation may reflect the remediation services that the Protected Area and its components, including riparian vegetation and the self-purification processes of flowing water, provide, thus constituting an important ecosystem service. The quantities that can be estimated using the modeling methodology employed in this study may render the intangible value of certain ecosystem services of protected areas more concrete by facilitating a monetary valuation of their capacity to produce water and conserve soil. This approach could significantly aid in the formulation of sustainable development policies that incorporate environmental considerations.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

ارزیابی منابع آب‌وخاک در منطقه حفاظت‌شده گاندو

جلیل بادام فیروز[1] ✉، لیلا شریفی[2]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه پژوهشی اقتصاد محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران. رایانامه: badam@rcesd.ac.ir

۲. دکترای اقلیم‌شناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
رایانامه: Leyla.sharifi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۵/۰۸
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۰/۰۶/۲۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۸/۲۱
تاریخ انتشار:
۱۴۰۰/۰۸/۲۲
تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
WWPSS،
ارزش اقتصادی،
تورم،
Invest.

چکیده

با ارزیابی کارکردها و خدمات اکوسیستمی مناطق حفاظت‌شده، می‌توان به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران آمایش سرزمین و توسعه پایدار در سطح منطقه و کشور کمک شایانی نمود. مطالعه حاضر به‌طور خاص به ارزیابی منابع آب‌وخاک در منطقه حفاظت‌شده گاندو و ارزش‌گذاری اقتصادی این خدمات می‌پردازد. به‌منظور مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی تعادل آبی، حفاظت خاک و کیفیت آب، از مدل هیدرولوژیکی و مبتنی بر داده‌های دور سنجی WWPSS استفاده شد. شبیه‌سازی با استفاده از یک سری تصاویر موزاییک شده مربعی یک‌درجه‌ای (یک هکتار) در مقیاس ماهانه انجام پذیرفت. به‌منظور ارزش‌گذاری اقتصادی نیز مدل Invest و روش هزینه جانشین بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که مجموع آب تولیدی در این منطقه ۴۰۱،۲۰۵،۳۴۴ مترمکعب در سال می‌باشد. همچنین کمینه، بیشینه و میانگین بودجه آبی هر سه منفی و به ترتیب معادل ۱۴۹۲/۷۶-، ۳۸/۰۴- و ۶۳۹/۲۴- میلی‌متر در سال است که نشان‌دهنده کمبود بارش و شدت تبخیر و تعرق در این منطقه است. میانگین پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی ۴/۵ درصد و این منطقه سالانه از فرسایش ۲ تن در هکتار خاک جلوگیری می‌نماید. ارزش اقتصادی واقعی تولید آب و حفاظت خاک به ترتیب در سال ۱۳۹۸ با اصلاح تورمی ۲۰/۱۸ درصد، ۶۷/۵۴ و ۲۷۲۹/۶۵ میلیارد ریال برآورد شده است. از سه سناریو با نرخ‌های تنزیل (مرکب) ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد در دوره‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله به‌منظور تعیین ارزش اقتصادی کارکردهای این منابع در آینده استفاده شد. نتایج نشان داد که به‌طور مثال؛ با نرخ تنزیل ۱۵ درصد و در دوره ۳۰ سال، ارزش اقتصادی کارکرد تولید آب و حفاظت خاک به ترتیب به ۴۴۷۱/۸۲ و ۱۸۰۷۳۰/۱۳ میلیارد ریال می‌رسد. در مجموع ارزش اقتصادی کارکرد تولید آب و حفاظت خاک، ۰/۳۵ و ۱۴/۱۷ درصد ارزش کلی منطقه می‌باشد.

استناد: بادام فیروز، جلیل؛ شریفی، لیلا (۱۴۰۴). ارزیابی منابع آب‌وخاک در منطقه حفاظت‌شده گاندو. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۷)، ۴۸۳-۴۶۶. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.7

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

مقدمه

مناطق حفاظت‌شده یکی از مؤثرترین راهبردهای حفاظت از تنوع زیستی و منابع طبیعی است. این مناطق زیستگاه مناسبی برای بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری فراهم می‌کند. بر این اساس می‌تواند کالاهای اساسی و خدمات اکوسیستم برای رفاه انسان را نیز فراهم کند. به‌عنوان‌مثال، بسیاری از مناطق حفاظت‌شده به‌عنوان مخازن طبیعی برای تولید محصولات کشاورزی، آب و حفاظت خاک عمل می‌کنند (لورا و پالو[1]، ۲۰۲۰: ۲۱۲-۲۱۰). به‌طورکلی، خدمات اکوسیستمی مناطق حفاظت‌شده را می‌توان به شرح ذیل تقسیم‌بندی نمود: خدمات (۱) تولیدی (تولید غذا، فیبر و چوب)، (۲) تنظیمی (به‌عنوان‌مثال، تصفیه آب و تعدیل آب‌وهوا)، (۳) پشتیبان حیات (به‌عنوان‌مثال، چرخه‌ی مواد مغذی) و (۴) فرهنگی (به‌عنوان‌مثال، تفریح، الهام از زیبایی و هویت فرهنگی) (سراقی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۷۰-۱۳۳؛ کاستانزا[2] و همکاران، ۱۹۹۷: ۲۵۳-۲۶۰؛ لورا و پالو، ۲۰۲۰: ۲۱۲-۲۱۰). ایجاد و گسترش این مناطق در حال افزایش است. به‌طور مثال؛ در سال ۱۹۹۲، مناطق حفاظت‌شده تنها ۴ درصد از کره زمین را پوشش داده است. درحالی‌که در سال ۲۰۱۹، بر اساس داده‌های پایگاه داده جهانی مناطق حفاظت‌شده و گزارش‌های سیاره محافظت شده، ۱۵/۹ درصد از مناطق آبی و خاکی جهان (۲۰/۹ میلیون کیلومترمربع) به‌صورت حفاظت‌شده نگهداری می‌شوند؛ که در مجموع شامل حدود ۲۱۸،۳۲۰ منطقه حفاظت‌شده را شامل می‌شوند (محمود[3] و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۰۰-۲۱۲). از طرف دیگر، عدم اطمینان از وضعیت منابع آب‌وخاک در آینده، یکی از مشکلات عمده سیاست‌گذاران در مدیریت و حفاظت از این منابع است. به این دلیل که اقدامات سیاست‌گذاری مناسب این منابع، ممکن است دهه‌ها به طول بیانجامد، درحالی‌که برنامه‌ریزی زیرساخت‌های آن‌ها، یک فعالیت طولانی‌مدت است (پروسکوریاکوا[4]، ۲۰۱۹: ۸۷۹-۸۶۷، معتمدی راد و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۳-۷۳). چراکه شرایط این منابع در آینده به عوامل مختلفی وابسته است که ارزش اقتصادی، تغییرات جمعیتی، در دسترس بودن، الگوی مصرف، الگوهای استفاده از زمین، سیاست‌های دولتی از جمله آن‌ها است (مک دانل[5]، ۲۰۱۴: ۲۲۵-۲۳۳، پروسکوریاکوا، ۲۰۱۹: ۸۷۹-۸۶۷). از این رو، یکی از چالش‌های اصلی مدیران و متخصصان در این حیطه، ارزیابی و پیش‌بینی وضعیت این منابع و طراحی برنامه‌ها و سیاست‌های زیرساختی مناسب بر اساس میزان خدماتی است که این منابع به طبیعت و بشر هدیه می‌دهند. در چنین مواردی، سناریوها می‌توانند برای ارزیابی شرایط آینده، برای اهداف مدیریتی و برنامه‌ریزی زیرساختی بسیار مفید باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱-۲۷، خلیلی و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۷۵-۵۵۷). منطقه حفاظت‌شده موردمطالعه، گاندو بوده که سیمای آن در یک طبقه‌بندی کلی در برگیرنده رودخانه‌ها و آبگیرهای محل زیست تمساح تالابی، اراضی ساحلی مجاور دریای عمان (رویشگاه جنگل‌های حرا و زیستگاه زادآوری بسیاری از پرندگان و لاک‌پشت‌های دریایی)، کوه‌ها و ارتفاعات واقع در شمال، شمال شرق و شرق منطقه و همچنین اراضی پست مرکز و جنوب منطقه می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). لذا ارزیابی وضعیت و کارکرد آب و همچنین میزان فرسایش خاک در این منطقه می‌تواند یک پژوهش مؤثر و کاربردی برای دستیابی به توسعه پایدار در این منطقه باشد. به‌ویژه آن‌که مناسبات اقتصادی در دنیای کنونی بر بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها سایه انداخته است و باید تلاش شود تا با ادبیات حاکم بر این مناسبات، به تلاش‌ها برای حفظ و بهبود اکوسیستم‌ها ادامه داد. توجه به این نکته ضروری است که این موضوع در خصوص اکوسیستم‌های حساس و ارزشمندی مانند مناطق حفاظت‌شده از اهمیت دوچندانی برخوردار می‌باشد.

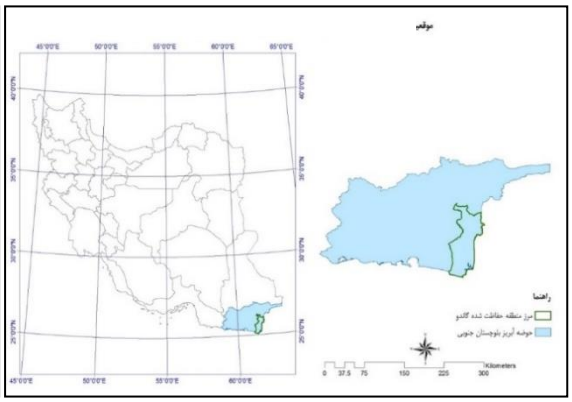
[1] Laura & Paulo
[2] Costanza
[3] Mahmoud
[4] Proskuryakova
[5] McDonnell

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

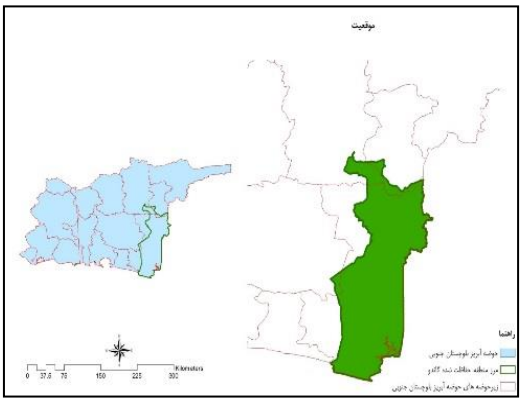
روش تحقیق

منطقه موردمطالعه

منطقه حفاظت‌شده گاندو با وسعت ۴۶۵۱۸۱ هکتار در جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان و منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران و در طول مرز ایران و پاکستان، در حد فاصل "۳۳ '۰۳ ˚۲۵ تا "۱۷ '۱۶ ˚۲۶ عرض شمالی و "۴۴ '۰۹ ˚۶۱ تا "۳۶ '۵۳ ˚۶۱ طول شرقی قرار دارد. این منطقه در مسیر رودخانه سرباز و باهو کلات بوده و تا دریای عمان ادامه می‌یابد. در داخل محدوده گاندو ۸۳ روستای دارای سکنه استقرار یافته و نقطه شهری در داخل این محدوده وجود ندارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). ازآنجایی‌که محدوده پایین‌دست منطقه به‌ویژه قسمت تالابی و محل رویش جنگل مانگرو متأثر از شرایط هیدرولوژیک حوضه آبریزی است که در آن واقع شده است، بدیهی است که در تعیین حدود مکانی باید به‌صورتی عمل شود که تحلیل فرایندهای اکولوژیک از منظر دانش هیدرولوژی نیز به‌درستی قابل تفسیر باشد. لذا محدود موردمطالعه؛ منطقه حفاظت‌شده گاندو شکل (۱) و واحد هیدرولوژیک آن شکل (۲) می‌باشد.



شکل (۱). منطقه حفاظت‌شده گاندو در کشور



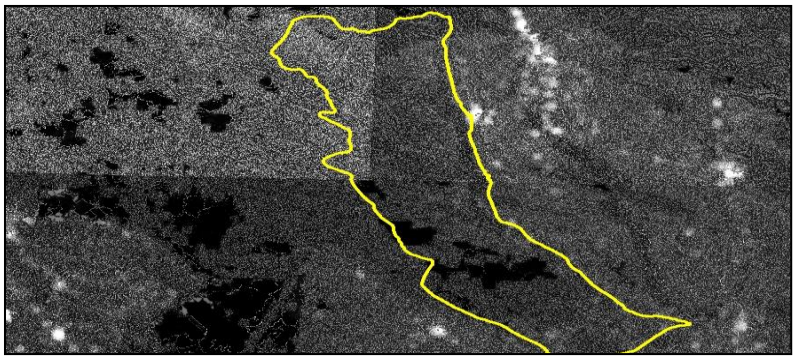
شکل (۲). زیر حوضه‌های آبریز بلوچستان جنوبی

ارزیابی کارکرد آب‌وخاک

به‌منظور مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی تعادل آبی، حفاظت خاک، پیشگیری از کاهش کیفیت آب، از مدل WWPSS[6] استفاده شد. این مدل، یک مدل فرایند- محور هیدرولوژیکی و مبتنی بر داده‌های دور سنجی است که در مقیاس‌های فضایی مختلف قابل‌استفاده است (مولیگان و بورک[7]، ۲۰۰۵: ۵۳-۴۱). شبیه‌سازی به کمک موزاییک‌های مربعی یک‌درجه‌ای (یک هکتار) انجام می‌پذیرد (شکل ۳). چند مورد از کاربردهای مهم مدل در مجامع معتبر بین‌المللی عبارت‌اند از: ارزیابی اثرات اکتشاف معدن در بولیوی توسط بانک جهانی (۲۰۱۰: ۲۵-۹۱)، ارزیابی خدمات آبی اکوسیستم در پارک ملی شیواپوری (نپال) توسط دانشگاه کمبریج (ماسکی و والمن[8]، ۲۰۰۸: ۴۹-۲۸)، استفاده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا جهت ارزیابی اثرات سوخت زیستی بر منابع آبی در ماداگاسکار (کوپن[9]، ۲۰۱۰: ۲۱-۵۷).

[6] Water World Policy Support System
[7] Mulligan & Burke
[8] Maskey & Wallman
[9] Koppen

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]



شکل (۳). یک نمونه از موزاییک‌های تصویری یک‌درجه‌ای (۱۰۰ کیلومتری) با قدرت تفکیک یک هکتار

بودجه آبی در این مدل از طریق محاسبه مقدار بارش جابجا شده توسط باد و تجمیع آن با مه و سپس تفریق مقدار واقعی تبخیر و تعرق از آن دو و بر اساس اطلاعات اقلیمی و داده‌های مربوط به پوشش گیاهی حاصل از دور سنجی، محاسبه می‌گردد (مولیگان[10]، ۲۰۱۳: ۷۴۸-۷۶۹). بودجه آبی و محاسبه رواناب (جریان آب سطحی) یکی از روش‌های اصلی برآورد میزان تولید آب در اکوسیستم محسوب می‌گردد. بودجه آبی از طریق یک جریان شبکه‌ای مربوط به طبقات ارتفاعی مختلف از بالادست تا پایین‌دست حاصل می‌شود (مولیگان و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۹۲-۴۷۲). در این مدل ابتدا محصول سالانه آب Y (x) برای هر پیکسل در لندسکیپ x، از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right).P(x)$$ رابطه (۱).

که در آن: AET(x) تبخیر تعرق واقعی سالانه برای پیکسل x و P(x) بارش سالانه در پیکسل x است. برای محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند، سهم تبخیر و تعرق در بودجه آبی، $\frac{AET(x)}{P(x)}$، به مبنای منحنی بودیکو که توسط فو (۱۹۸۱: ۲۳-۳۱) و ژانگ و دیگران (۲۰۰۴: ۱۰۲-۱۰۷) پیشنهاد شده است (رابطه ۲)، تبدیل می‌شود:

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PE}{}\right.\right.$$ رابطه (۲).

که در آن: PET(x) پتانسیل تبخیر و تعرق و $\omega(x)$ یک پارامتر غیر فیزیکی است که به ویژگی‌های اقلیمی- خاک مربوط می‌شود: PET(x) پتانسیل تبخیر و تعرق به‌صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$PET(x) = K_c(\ell_x).ET_0(x)$$ رابطه (۳).

که در آن: ET0(x) تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل x و $K_c(\ell_x)$ ضریب تبخیر و تعرق گیاه (پوشش) در ارتباط با پوشش/ کاربری ℓ_x در پیکسل x است. $ET_0(x)$ بازتاب‌دهنده شرایط محلی اقلیمی بر مبنای تبخیر و تعرق از پوشش گیاهی رشد یافته است. $K_c(\ell_x)$ تا حد زیادی به‌واسطه ویژگی‌های پوشش گیاهی در پوشش/کاربری موجود در یک پیکسل تعیین می‌شود. Kc مقدار ارزشی ET0 را برای محصول زراعی یا نوع پوشش گیاهی در هر پیکسل از نقشه کاربری/ پوشش تعدیل یا اصلاح می‌نماید. فرسایش خاک نیز بر اساس معادله Thornes (رابطه ۴) محاسبه می‌شود.

$$E = KQ^2S^{1.67}e - 0.07v_c$$ رابطه (۴).

که در این معادله، E فرسایش (mm/hr)، k ضریب فرسایش‌پذیری خاک که با توجه به ویژگی‌های منطقه، عدد ثابت ۰/۲ در نظر گرفته شده است. Q رواناب (mm/hr) که از مدل FIESTA که متصل به WWPSS است گرفته می‌شود. S تانژانت گرادیان شیب است که از مدل رقومی ارتفاع SRTM گرفته می‌شود. V_c ضریب پوشش گیاهی است که از سنجنده مودیس

[10] Mulligan

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

MODIS VCF از تصاویر لندست ۲۰۰۵-۲۰۰۰ گرفته می‌شود. انتقال رسوب بر اساس ظرفیت انتقال Tc تعیین می‌شود که با توجه به قدرت جریان که تابعی از رواناب و شیب است، محاسبه می‌گردد (رابطه ۵).

$$T_C = Q^{1.7} Sin(S)^{0.001}(1 - V_C)$$ رابطه (۵).

انتقال رسوب S تابعی است از ورودی رسوب از بالادست به‌اضافه فرسایش محلی، P در زمانی که ورودی رسوب و فرسایش کمتر از ظرفیت انتقال باشند. سرانجام رسوب‌گذاری درجایی (محدوده‌هایی) اتفاق می‌افتد که S بیشتر یا مساوی P باشد. مدل برای انجام محاسبات مربوط به فرسایش خاک دو نوع خروجی کلیدی، با عناوین فرسایش خالص خاک ناشی از شیب تپه‌ها و فرسایش خالص خاک (فرسایش منهای رسوب‌گذاری) ارائه می‌نماید. فرسایش خالص در واقع حجمی از خاک است که نهایتاً به‌عنوان رسوب در جریان‌های آبی و رودخانه‌ها وارد می‌شود (مولیگان و بورک، ۲۰۰۵). برای محاسبه وزن خاک فرسایش یافته باید از ضریب محلی جرم حجمی ظاهری خاک که معمولاً در طیفی بین ۱/۷-۱/۲ تن به ازای هر مترمکعب خاک است، استفاده نمود (مولیگان و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۹۲-۴۷۲).

ارزش‌گذاری اقتصادی تولید آب و حفاظت از خاک

برای ارزش‌گذاری اقتصادی تولید آب و حفاظت از خاک از مدل Invest و روش هزینه جانشین استفاده می‌شود. این مدل به کمک داده‌های بخش قبل به‌عنوان ورودی، ارزش اقتصادی تولید آب و حفاظت از خاک را بدین گونه محاسبه می‌نماید: هزینه جانشینی = هزینه تولید آب/ حفاظت از خاک * نرخ تورم – تخفیف بازار. (تخفیف بازار به دلیل عدم موجودیت در این مطالعه محاسبه نشده است)). روش هزینه جانشین از هزینه فراهم‌سازی جانشین‌ها به‌عنوان یک برآورد برای ارزش یک اکوسیستم یا خدمات آن استفاده می‌کند (ساسمن و زوهر[11]، ۲۰۱۸: ۲۱-۱۳). ارزش‌های برآورد شده باید در ارتباط با تغییرات مورد انتظار در سطوح قیمت در طول زمان نیز تعدیل شوند، در غیر این صورت نتایج تحلیل هزینه فایده قابل‌اتکا نیستند؛ بنابراین انجام دو نوع اصلاحات ضروری است (میشکین[12]، ۲۰۰۹: ۱۹۶-۱۸۷):

۱) تعیین ارزش فعلی: هزینه فرصت پول را لحاظ می‌نماید.

۲) اصلاح تورمی: تعدیل تغییرات در سطح قیمت‌ها.

برآوردهای اولیه هزینه فایده‌ای، باید در ارتباط با تغییرات سطح قیمت‌ها در طول زمان نیز اصلاح شوند که به آن اصلاح تورمی می‌گویند. برای تعدیل قیمت یک دلار در زمان فعلی با توجه به تورم مورد انتظار در زمان آتی، ارزش آن باید به ارزش اسمی آن در زمان موردنظر تبدیل شود. منظور از ارزش اسمی، مقدار تعیین‌شده ارزش برای زمان جاری است. منظور از ارزش واقعی نیز، مقدار تعدیل‌شده ارزش با توجه به اثر تورم می‌باشد. رابطه بین ارزش اسمی و ارزش واقعی به‌صورت رابطه (۶) است (ساسمن و زوهر، ۲۰۱۸: ۲۱-۱۳):

$$Nominal\ value_{period\ x+1} = Real\ value_{period\ x} * (1 + p)$$ رابطه (۶).

که در آن: p عبارت است از نرخ تورم بین زمان x و زمان x+1. اگر دوره‌های زمانی بیشتر مدنظر باشد، رابطه به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Nominal\ value_{period\ x+t} = Real\ value_{period\ x} * (1 + p)^t$$ رابطه (۷).

با معکوس کردن رابطه (۷) می‌توان ارزش اسمی را به ارزش واقعی تبدیل نمود:

رابطه (۸).

[11] Sussman& Zohar
[12] Mishkin

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

$$Real\ value_{period\ x} = Nomial\ value_{period\ x+t}/(1+p)^t$$

پس از تعیین ارزش واقعی برای دوره زمانیx ، با استفاده از آن در رابطه (۸) می‌توان ارزش موردنظر را به دوره‌های زمانی آتی مثلاً یک دوره‌های ۵ ساله تعمیم داد و با استفاده از نرخ تنزیل مناسب ارزش آتی یک خدمت اکوسیستمی را به ارزش خالص فعلی تبدیل نمود. ارزش خالص فعلی[13] از طریق گردش فواید خالص در سال پایه (t) و آینده (ct)، دوره ۰، تنزیل موردبررسی (T) و نرخ تنزیل (r) طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^1} = C_0 + \frac{C_1}{(1+r)^1} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots$$ رابطه (۹).

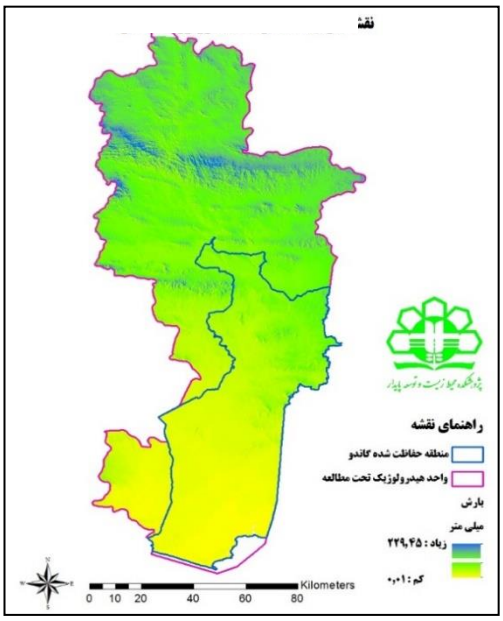
در این تحقیق با استفاده از معادلات مذکور ارزش خالص فعلی تولید آب و حفاظت از خاک برای دوره‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله با نرخ‌های تنزیل ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد برای هر دوره برآورد می‌شود.

نتایج و بحث

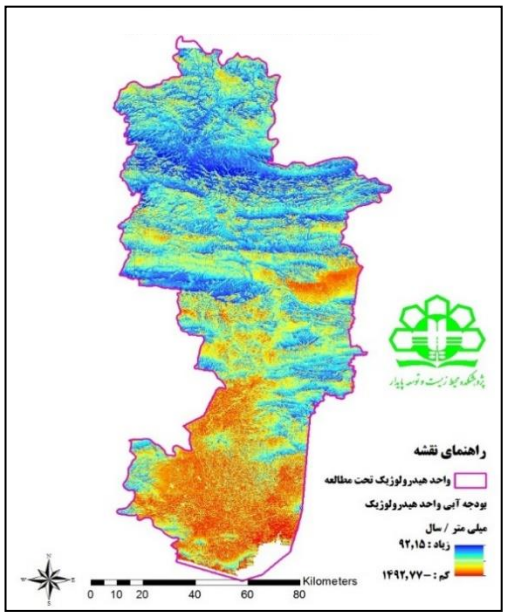
تشریح شرایط هیدرولوژیک پایه در واحد هیدرولوژیک کرخه

بارش

بر اساس خروجی مدل (WWPSS)، کمینه، بیشینه و میانگین بارش در واحد هیدرولوژیک گاندو به ترتیب ۰/۰۱، ۲۲۹/۴۵ و ۱۲۶/۱۸ میلی‌متر در سال است که نسبت به میانگین بارش سالانه کشور (۲۵۰ میلی‌متر در سال) تقریباً ۵۰ درصد کمتر است و حاکی از کمبود شدید بارش در این منطقه است. همچنین همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، محدوده جنوبی منطقه حفاظت‌شده گاندو دارای کمترین مقدار بارش است و مقدار بارش در محدوده‌های شمالی آن به سطوح میانگین بارش واحد هیدرولوژیک نزدیک‌تر می‌شود. کمینه بارش در این محدوده در بعضی نقاط حتی به صفر نزدیک و حداکثر بارندگی ۱۸۰ میلی‌متر است. در محدوده‌های شمالی کمینه بارش ۷۸ و بیشینه آن ۲۶۰ میلی‌متر است. درمجموع مقدار بارش در سطح واحد هیدرولوژیک از شمال به جنوب کاهش می‌یابد.



شکل (۴). نقشه بارش واحد هیدرولوژیک گاندو



شکل (۵). بودجه آبی واحد هیدرولوژیک (سال /mm)

[13] NPV: Net Present Value

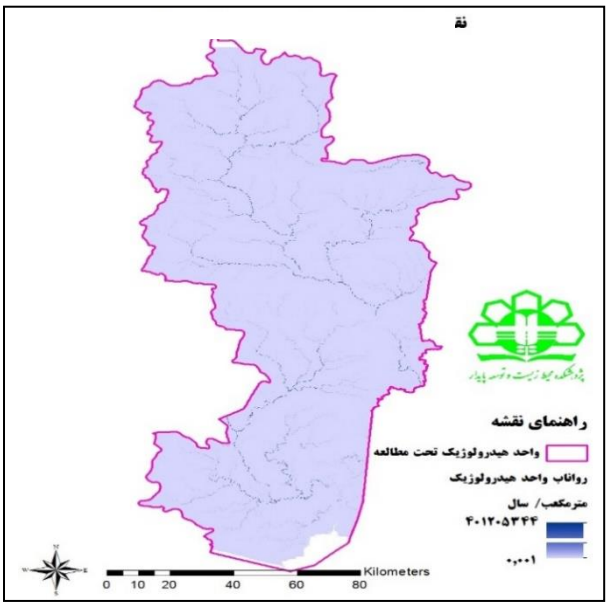
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

تعادل آبی (بودجه آبی)

تعادل یا بودجه آبی در شکل (۵) بر مبنای محاسبه اختلاف میان بارش و تبخیر و تعرق (بارش منهای تبخیر و تعرق) محاسبه‌شده است. بر اساس محاسبات مدل، بودجه آبی اکوسیستم برای محدوده موردمطالعه به‌طور متوسط ۴۹۹/۲۶-، کمینه ۱۴۹۲/۷۶- و بیشینه ۹۲/۱۵ میلی‌متر در سال است. منفی بودن میانگین بودجه بدان مفهوم است که در مجموع در کل پهنه واحد هیدرولوژیک به دلیل نرخ خیلی بالای تبخیر و تعرق و در مقال نرخ خیلی پایین بارش، با کمبود آب مواجه می‌باشد؛ بنابراین بودجه آبی واحد هیدرولوژیک منفی و به‌نوعی با ورشکستگی آبی مواجه است. تبخیر و تعرق واقعی شامل طیفی از ۱۳۰ تا ۱۳۰۰ و به‌طور میانگین ۵۴۰ میلی‌متر در سال است. سهم مه در ارتباط با بارندگی به‌طور متوسط ۰/۶ درصد و مقدار آن ۰/۸۶ میلی‌متر در سال است که سهم بسیار کمی محسوب می‌گردد، اما طیف آن شامل صفر تا ۹/۶ میلی‌متر در سال است. در همین ارتباط با توجه به اینکه می‌بایست برای انجام ارزش‌گذاری اقتصادی خدمت اکوسیستمی تأمین آب، نرخ این خدمت به‌طور مشخص برای منطقه حفاظت‌شده نیز مشخص شود، نقشه بودجه آبی منطقه حفاظت‌شده نیز استخراج گردید شکل (۵). دراین‌ارتباط مشخص‌شده که وضعیت بودجه آبی منطقه حفاظت‌شده به‌مراتب از واحد هیدرولوژیک بدتر است و کمینه، بیشینه و میانگین آن، هر سه منفی و به ترتیب معادل ۱۴۹۲/۷۶-، ۳۸/۰۴- و ۶۳۹/۲۴- میلی‌متر در سال است.

تولید رواناب در کل محدوده موردمطالعه

محاسبه میزان تولید آب توسط واحد هیدرولوژیک موردمطالعه بر مبنای محاسبه مقدار رواناب به‌صورت بودجه آبی انباشت شده در پایین‌دست شکل (۵) صورت گرفت. بر این اساس، کمینه، میانگین و بیشینه تولید رواناب در واحد هیدرولوژیک گاندو به ترتیب معادل صفر، ۴۰۸۱۴۷/۷۹ و ۴۰۱۲۰۵۳۴۴ مترمکعب در سال برآورد شد شکل (۶). با توجه به اینکه کل رواناب تولیدشده در این واحد هیدرولوژیک بر اساس روابط بالادست- پایین‌دست واحد هیدرولوژیک در جهت شمال به جنوب جاری‌شده و درنهایت در جنوبی‌ترین قسمت منطقه حفاظت‌شده و در خور باهو تخلیه می‌گردد، مجموع آب تولیدی منطقه حفاظت‌شده را می‌توان همان عدد حداکثر رواناب تولید شده در واحد هیدرولوژیک و معادل ۴۰۱۲۰۵۳۴۴ مترمکعب در سال برآورد نمود شکل (۶).



شکل (۶). تولید رواناب در واحد هیدرولوژیک گاندو (مترمکعب در سال)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

برآورد فرسایش خاک در کل محدوده موردمطالعه

بر اساس محاسبات مدل در وضعیت موجود واحد هیدرولوژیک، کمینه، بیشینه و میانگین فرسایش خالص ناشی از شیب تپه‌ها، به ترتیب معادل ۰/۳۱۱-، ۰/۴۲۹ و ۵/۵ - میلی‌متر در سال است شکل (۷).

شکل (۷). فرسایش ناشی از شیب تپه‌ها در واحد هیدرولوژیک (میلی‌متر در سال)

شکل (۸). فرسایش خالص خاک در واحد هیدرولوژیک (میلی‌متر در سال)

اعداد منفی در مدل فرسایش WWPSS، نشان‌دهنده انباشت یا تجمع خاک در محدوده موردنظر و عدم انتقال آن‌ها از بالادست به پایین‌دست در قالب رسوب‌گذاری حاصل از فرسایش است. با توجه به اینکه میانگین فرسایش خاک ناشی از شیب تپه‌ها، منفی برآورد شده است، این وضعیت نشان‌دهنده رسوب‌گذاری خاک در سطح پهنه واحد هیدرولوژیک و عدم انتقال آن‌ها ناشی از شیب و در سطح کانال‌ها و مجاری آبی است که احتمالاً به دلیل کم بودن رواناب و قدرت آن برای انتقال رسوبات است.

بر اساس شکل (۸) در وضعیت جاری واحد هیدرولوژیک، کمینه، بیشینه و میانگین فرسایش خالص خاک، به ترتیب معادل ۴۹۷۹۳/۶۲-، ۵۴۰۰ و ۰/۰۱۳- میلی‌متر در سال بوده است. این اعداد حاکی از آن هستند که در وضعیت موجود، فرسایش خاک به‌عنوان یک معضل زیست‌محیطی مطرح نبوده و برعکس با توجه به میانگین منفی آن، شرایط اکولوژیک حاکم بر خاک به‌گونه‌ای بوده که موجب تثبیت خاک نیز است. به‌عبارت‌دیگر درمجموع میزان رسوب‌گذاری خاک بیشتر از فرسایش آن در کل واحد هیدرولوژیک و انتقال آن به پایین‌دست است. با این‌حال میانگین فرسایش خاک در پهنه منطقه حفاظت‌شده بیشتر است و به عدد مثبت ۰/۰۱۱ میلی‌متر در سال در مترمربع (معادل ۰/۰۰۰۰۱۱ مترمکعب در سال در مترمربع از زمین) می‌رسد. برای محاسبه تناژ خاک فرسایش یافته می‌بایست این مقدار در وزن مخصوص ظاهری خاک که برای محدوده موردمطالعه ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته‌شده است، ضرب می‌شود (رابطه ۱۰).

$$0.011\ mm/m^2 = 10000\ m^2 * 0.000011\ m^3/m^2 * 1.6$$ رابطه (۱۰). n/ha

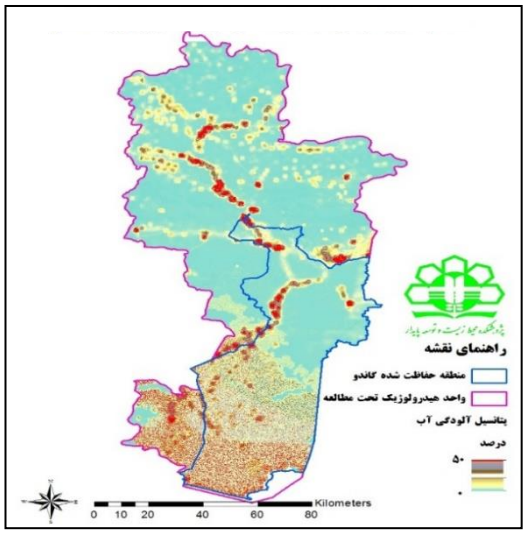
ازاین‌رو مقدار فرسایش خالص سالانه خاک معادل ۰/۱۷۶ تن در هکتار برآورد شده است که در مقایسه با ارقام فرسایش خاک در سایر نقاط کشور بسیار ناچیز است. اگر این مقدار در مساحت منطقه حفاظت‌شده (معادل ۴۶۵۱۷۲/۱۴ هکتار)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

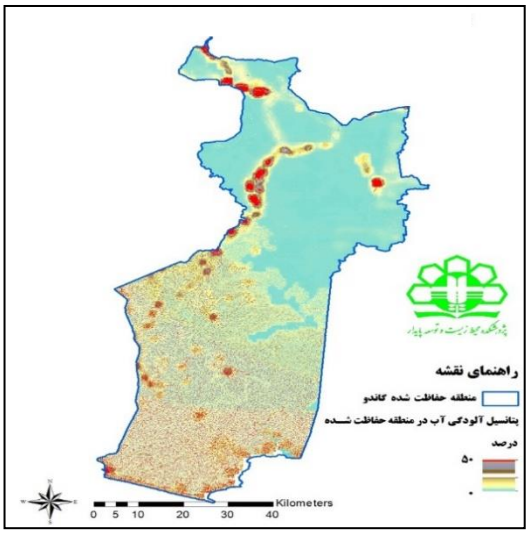
ضرب شود، تناژ سالانه خاک فرسایش یافته در این منطقه معادل ۸۱۸۷۰/۲۹ تن به دست می‌آید. در این زمینه باید توجه نمود که بر اساس مطالعات قبلی، سرعت مجاز فرسایش خاک در ایران در مناطق خشک ۰/۰۱ میلی‌متر در سال و در مناطق مرطوب تا ۷/۷ میلی‌متر در سال است؛ بنابراین با توجه به‌واقع شدن محدوده موردمطالعه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به نظر می‌رسد میانگین فرسایش خاک در محدوده موردمطالعه در حدود آستانه مجاز است. برای تعیین کمیت تدارک این خدمت اکوسیستمی میزان اختلاف بین حداکثر و حداقل فرسایش خاک در پهنه حفاظت‌شده مبنای قضاوت قرار گرفت. این مقدار معادل ۵۵۱۹۳/۶۲- میلی‌متر در سال است. اگر همین مقدار با کمک رابطه (۹) به تن تبدیل شود، معادل ۸۸۳۰۹۷/۹۲- تن می‌شود.

پتانسیل آلودگی آب

چنانچه مشاهده در شکل (۹) می‌شود، بیشترین پتانسیل آلودگی در محدوده‌های رود کناری و در بخش جنوبی واحد هیدرولوژیک و منطقه حفاظت‌شده گاندو دیده می‌شود. این پتانسیل آلودگی در نواحی رود کناری، به دلیل استقرار سکونتگاه‌های انسانی در حاشیه رودخانه‌ها و همچنین وجود اراضی زراعی پیرامونی آن‌هاست. دلیل گستردگی سطوح با پتانسیل بالای آلودگی در جنوبی‌ترین قسمت‌های منطقه حفاظت‌شده، به دلیل گستردگی اراضی سکونتگاهی و به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی در داخل و زمین‌های هم‌جوار با مرز جنوب غربی منطقه حفاظت‌شده است. درمجموع پتانسیل آلودگی واحد هیدرولوژیک بین ۰ تا ۵۰ درصد و به‌صورت میانگین حدود ۳ درصد است. بااین‌حال میانگین پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در داخل منطقه حفاظت‌شده بالاتر و معادل ۴/۵ درصد است شکل (۱۰).



شکل (۹). ردپای آلودگی انسانی بر کیفیت آب‌های سطحی در واحد هیدرولوژیک گاندو



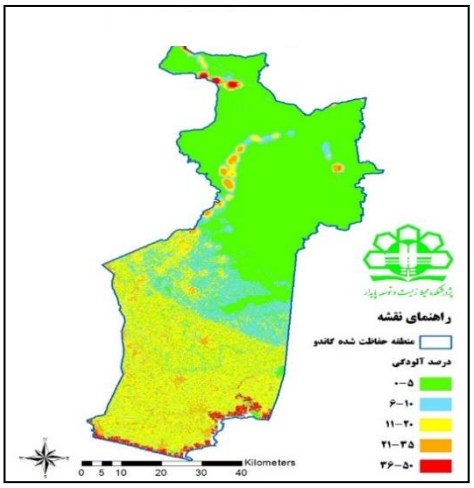
شکل (۱۰). ردپای آلودگی انسانی بر کیفیت آب‌های سطحی در منطقه حفاظت‌شده گاندو

به‌منظور درک بیشتر از چگونگی توزیع فضایی پتانسیل آلودگی آب در منطقه حفاظت‌شده گاندو، این متغیر تحت طبقه‌بندی در ۵ طبقه مختلف قرار گرفت که جزئیات آن و مساحت تحت پوشش هر طبقه در شکل (۱۱) و جدول (۱) مشهود است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

جدول (۱). طبقه‌بندی اراضی منطقه حفاظت‌شده گاندو به لحاظ سطوح پتانسیل آلودگی

سطح کمی (٪)	سطوح کیفی	مساحت (هکتار)
۰-۵	خیلی کم (سالم)	۳۵۹۳۷۲/۱۹
۶-۱۰	کم (تقریباً سالم)	۴۵۹۸۲/۴
۱۱-۲۰	متوسط (آستانه خطر)	۵۱۲۸۸/۲۵
۲۱-۳۵	زیاد (آلوده)	۶۱۷۹/۴۳
۳۶-۵۰	خیلی زیاد (پرمخاطره)	۲۳۴۹/۸۷
جمع کل		۴۶۵۱۷۲/۱۴



شکل (۱۱). طبقه‌بندی اراضی تحت پوشش سطوح مختلف آلودگی آب‌های سطحی در منطقه حفاظت‌شده گاندو

تعیین ارزش اقتصادی منابع آب

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد، مجموع آب تولیدی در منطقه معادل ۴۰۱۲۰۵۳۴۴ مترمکعب در سال است. برای ارزش‌گذاری منابع آب از قیمت آب‌بهای ابلاغی استفاده شده است. آب‌بهای ابلاغی طبق روش جاری در کشور براساس قانون تثبیت آب‌بهای زراعی معادل یک، دو و سه درصد؛ حاصل‌ضرب تولید در قیمت محصول برداشت شده می‌باشد. برای برآورد آب‌بهای کشاورزی در منطقه موردمطالعه، محصولات زراعی غالب منطقه که گندم و جو می‌باشد، منظور می‌شود. میزان محصولات تولید شده در استان از سالنامه آماری کشور و قیمت خرید تضمینی محصولات زراعی سال ۱۳۹۸ از گزارشات شورای اقتصاد استخراج شده است. همچنین با توجه به این‌که روش عمده آبیاری در کشور روش سنتی است، لذا متوسط نرخ آب‌بها برای روش سنتی منظور می‌شود جدول (۲).

جدول (۲). متوسط نرخ آب‌بها براساس نوع محصول در منطقه موردمطالعه

محصول	عملکرد در هکتار (کیلوگرم)	قیمت هر کیلوگرم محصول (ریال)	متوسط نرخ آب‌بها (ریال / هکتار) (سنتی ۱ درصد)
گندم	۱۳۷۶/۴۳	۱۴۷۰۰	۲۰۲۳۳۵/۲۱
جو	۱۲۵۹/۹۶	۱۱۶۳۹	۱۴۶۶۴۶/۷۴
میانگین (ریال / هکتار)			۱۷۴۴۹۰/۹۸

طبق جدول (۲) متوسط نرخ آب‌بها در منطقه ۱۷۴۴۹۰/۹۸ ریال در هکتار می‌باشد؛ بنابراین باتوجه به مساحت منطقه حفاظت‌شده گاندو، ارزش اقتصادی منابع آب منطقه برابر با ۸۱/۱۷ میلیارد ریال می‌باشد. همچنین ارزش اقتصادی منابع آب هر هکتار ۰/۱۷۴ میلیون ریال برآورد می‌شود.

همان‌گونه که در روش تحقیق بیان شد، ارزش اسمی برآورد شده باید براساس میانگین نرخ تورم به ارزش واقعی تبدیل شود. میانگین نرخ تورم ۳۰ سال گذشته طبق آمار بانک مرکزی ۲۰/۱۸ درصد است، باتوجه به این‌که ارزش برآورد شده برای ۳۰ سال آینده تنزیل خواهد شد، لذا برای انجام اصلاح تورمی متوسط نرخ تورم ۳۰ سال گذشته منظور می‌شود جدول (۳).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

جدول (۳). ارزش جریان سالانه منابع آب در منطقه موردمطالعه برای سال ۹۸ (منطقه حفاظت‌شده گاندو)

سال	ارزش اسمی کل منطقه[۱۴] (میلیارد ریال)	ارزش واقعی کل منطقه[۱۵] (میلیارد ریال)	میانگین ارزش واقعی هر هکتار (میلیون ریال)
۱۳۹۸	۸۱/۱۷	۸۱/۱۷ / (۱ +۰/۲۰۱۸) = ۶۷/۵۴	۰/۱۴۴

با توجه به جدول (۳) ارزش واقعی تولید آب در منطقه حفاظت‌شده گاندو با اصلاح تورمی در سال ۱۳۹۸، ۸۱/۱۷ میلیارد ریال برآورد شده است. میانگین ارزش واقعی تولید آب در هر هکتار از منطقه موردمطالعه نیز با اصلاح تورمی معادل ۰/۱۴۴ میلیون ریال برآورد شده است.

جدول (۴) ارزش اقتصادی منابع آب تولید شده منطقه حفاظت‌شده گاندو را طی دوره‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله نشان می‌دهد. البته با توجه به این‌که ارزش هر یک از کارکردهای منطقه موردمطالعه در دوره‌های مذکور آینده نامشخص است، تمامی ارزش‌های فعلی با نرخ مرکب به زمان آینده برده می‌شود تا ارزش آن‌ها در ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ سال آینده مشخص شود. نرخ تنزیل زیست‌محیطی در بسیاری از مطالعات بین‌المللی تقریباً ۸ درصد در نظر گرفته شده است، اما در ایران باتوجه به اولویت‌بخشی به بهره‌برداری‌های کوتاه‌مدت نسبت به استفاده‌های پایدار از منابع اکولوژیک، انتظار می‌رود که این نرخ بالاتر در نظر گرفته شود. لذا در این تحقیق، از سه سناریو با نرخ‌های تنزیل (مرکب) ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد به‌منظور تعیین ارزش کارکردهای موردنظر استفاده شده است.

جدول (۴). ارزش اقتصادی کارکرد تولید آب در منطقه حفاظت‌شده گاندو طی دوره ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله (میلیارد ریال)

دوره	نرخ تنزیل (درصد)	ارزش هر هکتار (میلیون ریال)	کل ارزش خالص فعلی[۱۶] منطقه حفاظت‌شده (میلیارد ریال)
۵ ساله	۸	۰/۲۱	۹۸/۶۱
	۱۲	۰/۲۵	۱۱۸/۸۷
	۱۵	۰/۲۹	۱۳۵/۷۵
۱۰ ساله	۸	۰/۳۱	۱۴۵/۲۱
	۱۲	۰/۴۵	۲۱۰/۰۵
	۱۵	۰/۶	۲۷۲/۸۶
۱۵ ساله	۸	۰/۴۶	۲۱۴/۱
	۱۲	۰/۷۹	۳۶۹/۴۴
	۱۵	۱/۱۷	۵۴۹/۷۷
۳۰ ساله	۸	۱/۴۵	۶۷۹/۴۵
	۱۲	۴/۳۱	۲۰۲۳/۵
	۱۵	۹/۵۳	۴۴۷۱/۸۲

تعیین ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک

برای تعیین ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک از روش هزینه جایگزینی مواد مغذی استفاده شده است. این روش به دنبال احیای خاک فرسایش یافته به سطح قبل از فرسایش است. به همین منظور هزینه خرید کود شیمیایی لازم برای حفظ و احیای بهره‌وری خاک برآورد می‌شود. در این روش، هزینه‌های جایگزینی مواد غذایی به‌صورت مستقیم و بر مبنای تخلیه عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، با در نظر گرفتن تراز مواد غذایی و قیمت خرده‌فروشی کود شیمیایی برآورد می‌شود. میزان عناصر موردنیاز گیاه به درصد خاک مرتعی، برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۳ و ۱/۲ درصد از خاک

[۱۴] مجموع ارزش برآورد شده منابع آب برای منطقه حفاظت شده گاندو

[۱۵] اصلاح شده تورمی بر اساس رابطه ۹

[16] Total Net Present Value

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

می‌باشد که با فرسایش خاک این میزان از عناصر اساسی خاک از بین می‌رود. کود NPK، در بازار با قیمت هر کیلوگرم ۲۲۵۰۰۰ ریال فروخته می‌شود؛ بنابراین می‌توان به‌این‌ترتیب ارزش حفاظت خاک در منطقه موردمطالعه را برآورد کرد.

در بخش قبل مشخص شد که کارکرد خدمت اکوسیستمی حفاظت خاک از فرسایش حدود ۹۰۰ هزار تن خاک در سال جلوگیری می‌کند. در جدول (۵) حفظ عناصر NPK در منطقه مشخص شده و هم‌چنین با توجه به قیمت بازاری کود NPK ارزش کارکرد حفاظت خاک ارائه شده است.

جدول (۵). برآورد ارزش اقتصادی حفاظت خاک در منطقه حفاظت‌شده گاندو

میزان خاک حفاظت‌شده (تن)	میزان عناصر اساسی حفاظت‌شده (تن)		ارزش حفاظت از عناصر اساسی (میلیارد ریال)
۹۰۰۰۰۰	نیتروژن (N)	۱۰۸۰	۲۴۳
	فسفر (P)	۲۷۰۰	۶۰۷/۵
	پتاسیم (K)	۱۰۸۰۰	۲۴۳۰
	جمع	۱۴۵۸۰	۳۲۸۰/۵
	جمع در هکتار	۰/۰۳۱	۶/۹۸ میلیون ریال

ارزش واقعی حفاظت خاک به مانند کارکرد تولید آب با نرخ تورم ۲۰/۱۸ طی ۳۰ سال گذشته در جدول (۶) محاسبه می‌شود.

جدول (۶). ارزش جریان سالانه حفاظت خاک در منطقه موردمطالعه برای سال ۹۸ (منطقه حفاظت‌شده گاندو)

سال	ارزش اسمی کل منطقه (میلیارد ریال)	ارزش واقعی کل منطقه (میلیارد ریال)	میانگین ارزش واقعی هر هکتار (میلیون ریال)
۱۳۹۸	۳۲۸۰/۵	۳۲۸۰/۵ / (۱ + ۰/۲۰۱۸) =۲۷۲۹/۶۵	۵/۸۱

مطابق جدول (۶) ارزش واقعی حفاظت خاک در منطقه حفاظت‌شده گاندو با اصلاح تورمی در سال ۱۳۹۸ معادل ۲۷۲۹/۶۵ میلیارد ریال برآورد شده است. میانگین ارزش واقعی حفاظت خاک در هر هکتار از منطقه موردمطالعه نیز با اصلاح تورمی معادل ۵/۸۱ میلیون ریال برآورد شده است.

در جدول (۷) ارزش اقتصادی خاک حفاظت‌شده در منطقه حفاظت‌شده گاندو طی دوره‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله به مانند کارکرد تولید آب با نرخ‌های تنزیل (مرکب) ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد محاسبه شده است.

جدول (۷). ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک در منطقه حفاظت‌شده گاندو طی دوره ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله (میلیارد ریال)

دوره	نرخ تنزیل (درصد)	ارزش هر هکتار (میلیون ریال)	کل ارزش خالص فعلی (میلیارد ریال)
۵ ساله	۸	۸/۵	۳۹۸۵/۲۹
	۱۲	۱۰/۲۲	۴۸۰۴/۱۸
	۱۵	۱۱/۶۸	۵۴۸۶/۶
۱۰ ساله	۸	۱۲/۵	۵۸۶۸/۷۵
	۱۲	۱۸/۰۷	۸۴۸۹/۲۱
	۱۵	۲۳/۵	۱۱۰۲۷/۷۹
۱۵ ساله	۸	۱۸/۴۲	۸۶۵۲/۹۹
	۱۲	۳۱/۷۸	۱۴۹۳۱/۱۹
	۱۵	۴۷/۳	۲۲۲۱۹/۳۵
۳۰ ساله	۸	۵۸/۴۵	۲۷۴۶۰/۲۸
	۱۲	۱۷۴/۰۷	۸۱۷۸۰/۳۱
	۱۵	۳۸۴/۷	۱۸۰۷۳۰/۱۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

نتیجه‌گیری

کمینه، بیشینه و میانگین بودجه آبی در منطقه حفاظت‌شده گاندو، هر سه منفی و به ترتیب معادل ۱۴۹۲/۷۶-، ۳۸/۰۴- و ۶۳۹/۲۴- میلی‌متر در سال است که نشان‌دهنده کمبود بارشی معادل ۶۳۹ میلی‌متر در سال است که با توجه به میانگین بارش سالانه آن قابل جبران نیست. این مسئله ناشی از شدت تبخیر و تعرق در این محدوده جغرافیایی است. با توجه به جهت جریان آب از بالادست به پایین‌دست به نظر می‌رسد که عمده آلودگی‌هایی ایجادشده در مجموع در بخش انتهایی واحد هیدرولوژیک گاندو و در محل خروجی آب از واحد و ورود به بخش دریایی تجمع می‌یابد. با این حال علیرغم پتانسیل بالای آلودگی در پایین‌دست، تفاوت میانگین پتانسیل آلودگی بین واحد هیدرولوژیک و منطقه حفاظت‌شده کم و حدود ۱/۵ درصد است. این معیار می‌تواند معرف خدمات پالایش آلاینده‌ها توسط منطقه حفاظت‌شده و اجزای آن از جمله پوشش گیاهی رود کناری و توان خودپالایی آب‌های جاری باشد که به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی مهم قابل ارزیابی است. در مطالعات (مک دانل، ۲۰۱۴: ۲۳۳-۲۲۵؛ محمود و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۰۰-۲۱۲) این مسئله نیز موردبررسی و تأیید قرار گرفته شده است. همچنین کارکرد خدمت اکوسیستمی منطقه حفاظت‌شده گاندو موجب جلوگیری از فرسایش حدود ۹۰۰ هزار تن خاک در سال است. به‌عبارت‌دیگر وجود منطقه حفاظت‌شده سالانه از فرسایش ۲ تن در هکتار خاک منطقه جلوگیری می‌نماید. این بدین مفهوم است که منطقه حفاظت‌شده به لحاظ تدارک خدمت اکوسیستمی پیشگیری از فرسایش خاک (حفاظت از خاک) دارای وضعیت مطلوبی است. این مسئله باعث کاهش انتقال رسوبات از نواحی شیب‌دار در سطح پهنه واحد هیدرولوژیک به سطح کانال‌ها و مجاری آبی شده که خود نیز منجر به کاهش پتانسیل کاهش کیفیت آب شده است. مطالعات (پروسکوریاکوا، ۲۰۱۹: ۸۷۹-۸۶۷؛ ماسکی و والمن، ۲۰۰۸: ۲۸-۴۹؛ مولیگان، ۲۰۱۳: ۷۶۹-۷۴۸) نیز کارکرد حفاظتی خاک از منظر کاهش فرسایش خاک را یکی از مهم‌ترین خدمات مناطق حفاظت‌شده می‌دانند. ارزش منابع آب موجود در منطقه حفاظت‌شده گاندو در سال ۱۳۹۸، ۶۷/۵۴ میلیارد ریال برآورد شده است که با توجه به گزارش ارزش‌گذاری اقتصادی کالاها و خدمات اکوسیستمی منطقه حفاظت‌شده گاندو معادل ۰/۳۵ درصد ارزش کل منطقه می‌باشد. همچنین ارزش کل حفاظت خاک ۲۷۲۹/۶۵ میلیارد ریال می‌باشد که بنابر همین گزارش؛ برابر با ۱۴/۱۷ درصد ارزش کل منطقه است. ارزش خالص فعلی توان تولید آب و حفاظت خاک با کسر بار تورمی و لحاظ نرخ‌های تنزیل متفاوت (٪ ۸، ۱۲ و ۱۵) برای دوره‌های زمانی ۵ تا ۳۰ سال آینده نشان می‌دهد که ارزش اقتصادی تولید آب و حفاظت خاک در طی زمان و سال‌های آتی صعودی خواهد بود. بدین‌صورت که ارزش خالص حفاظت خاک در ۳۰ سال آینده با نرخ‌های تنزیل ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد به ترتیب ۲۷۴۶۰/۲۸، ۸۱۷۸۰/۳۱، ۱۸۰۷۳۰/۱۳ میلیارد ریال خواهد شد. همچنین برای تولید آب در این منطقه حفاظت‌شده، با همین نرخ تنزیل؛ ارزش خالص تولید آب به ترتیب به ۶۷۹/۴۵، ۲۰۲۳/۵، ۴۴۷۱/۸۲ میلیارد ریال در ۳۰ سال آینده خواهد رسید. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ از منظر اقتصادی نیز علیرغم لحاظ نرخ تورم سالانه و نرخ‌های تنزیل ارزش اقتصادی برای برآورد ارزش خالص کنونی و اثر خنثی‌کننده این دو بر هم ارزش‌های برآورد شده صعودی هستند. پژوهش مولیگان و همکاران (۲۰۱۰: ۴۹۲-۴۷۲) نیز این مسئله را تأیید می‌کند. البته با توجه به بالاتر بودن متوسط نرخ تورم در نظر گرفته شده (۲۰/۱۸ درصد) از نرخ طیفی تنزیل ۸-۱۵ درصد)، قطعاً عامل تورم درازمدت بر روند افزایشی ارزش پولی موردنظر تأثیرگذار است. با این حال، نظر به اینکه اساساً ارزش‌گذاری اقتصادی منابع محیط‌زیستی با هدف استفاده در تحلیل‌های هزینه- فایده اقتصادی برای حفاظت محیط‌زیست در مقایسه با سایر طرح‌های توسعه‌ای کشور و بهبود در سیاست‌گذاری‌های هم‌زمان توسعه و حفظ محیط‌زیست انجام می‌شود، لحاظ این مقدار اثر تورمی بر ارزش اقتصادی منابع محیطی مانند همه کالاها و خدمات دیگر اقتصادی، بلامانع به نظر می‌رسد.

در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق، از مزیت‌های قابل‌توجهی در فرایندهای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در حوزه‌های توسعه و محیط‌زیست برخوردار است. نتایج حاصل از برآوردهای کمّی بیوفیزیکی می‌تواند به استفاده از این روش مدل‌سازی در انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی به‌ویژه در مناطق حفاظت‌شده کشور کمک نماید و بدین ترتیب سنجش‌های دقیق‌تر کمّی (بر اساس واحدهای متریک) را با برآوردهای توصیفی رایج که عمدتاً مبتنی بر گزاره‌هایی چون توان کم، متوسط، زیاد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

و... هستند، جایگزین نماید. کاربرد این مدل و سایر مدل‌های کمّی سازی خدمات اکوسیستمی می‌تواند موجب افزایش دقت ارزیابی‌های زیست‌محیطی شود و بدین ترتیب کارایی ارزیابی محیط‌زیستی به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری را بهبود بخشد. از سوی دیگر سیاست‌گذاری‌های توسعه‌ای عمدتاً بر مبنای منافع اقتصادی ملموس و آنی انجام می‌شوند. این در حالی است که در حال حاضر بسیاری از ارزش‌های اقتصادی محیط‌زیستی برای تصمیم گیران ناملموس هستند؛ بنابراین کمّیت‌های قابل برآورد به روش مدل‌سازی انجام شده در این تحقیق، با ایجاد امکان ارزش‌گذاری پولی توان تولید آب و حفاظت خاک، می‌تواند ارزش ناملموس بخشی از خدمات اکوسیستم‌های مناطق حفاظت‌شده را ملموس‌تر نماید و به انجام سیاست‌گذاری‌های پایدار توسعه با لحاظ ملاحظات زیست‌محیطی کمک شایانی نماید.

منابع

حسینی ساره؛ اولادی جعفر و امیرنژاد حمید. (۱۳۹۴). اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی پارک‌های ملی با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (Entropy،SAW و TOPSIS)، پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۲(۴)، ۱-۲۷.

خلیلی افسانه؛ متاجی اسداله؛ ثاقب طالبی خسرو و حجتی سیدمحمد. (۱۳۹۹). تغییرات مقدار چگالی، زی توده، ذخیره‌ی کربن و نیتروژن چوب خشک دارهای راش و ممرز برحسب درجات مختلف پوسیدگی در جنگل خیرود نوشهر، مجله جنگل ایران، ۱۲(۴): ۵۷۵-۵۵۷.

سراقی عیسی؛ ملکی حسین و ابوالفتحی داریوش. (۱۳۸۷). نقش جاذبه‌های اکوتوریستی در توسعه گردشگری نهاوند با تأکید بر مدلSWOT ، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۸ (۶): ۱۷۰-۱۳۳.

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). سالنامه‌های آماری ایران (گزارش ۳۵)، تهران: مرکز آمار ایران.

معتمدی راد محمد؛ گلی مختاری لیلا؛ بهرامی شهرام و زنگنه اسدی، محمدعلی. (۱۳۹۸). ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱ (۶۲): ۹۳-۷۳.

Costanza, R., D’Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R.V., Paruelo, J., (1997), The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature, 39* (387): 253–260.

Fu, B., (1981), On the calculation of the evaporation from land surface, Scientific Atmosphere, 1(3): 23–31.

Koppen, V., (2010), Multiple-use water services in Madagascar: climbing the water ladder, Waterlines, 29 (1): 21-57.

Laura Onofri, A., Paulo A.L.D., Nunes, A., (2020), Economic valuation for policy support in the context of ecosystem-based adaptation to climate change: An indicator, integrated based approach, Heliyon, *6* (04650): 212-219.

Mahmoud, M.T., Hamouda, M.A., Mohamed, M.M., (2019), Spatiotemporal evaluation of the GPM satellite precipitation products over the United Arab Emirates, Atmosphere Resource, 219, 200–212.

Maskey, N., Wallman., P., (2008), Investing in Ecosystem Services: Opportunities and Challenges for Shivapuri National Park, Nepal, Studies and Sustainability Science, 170 (211): 28-49.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]

McDonnell, R.A., (2014), Circulations and transformations of energy and water in Abu Dhabi's hydrosocial cycle, Geoforum Complete,105 (57): 225–233.

Mishkin, F., (2009), Globalization, Macroeconomic Performance, & Monetary Policy, Money, Credit & Banking, Studies and Sustainability Science, 41(1): 187-196

Mulligan, M., (2013), WaterWorld: a self-parameterising, physically based model for application in data-poor but problem-rich environments globally, Hydrology Research, 44(5): 748-769.

Mulligan, M., Burke, S. M., (2005), FIESTA: Fog interception for the enhancement of streamflow in tropical areas, environmental management, 79 (91): 41-53.

Mulligan, M., Rubiano, J., Hyman, G., White, D., Garcia, J., Saravia, M., & Leonardo Saenz-Cruz, L., (2010), The Andes basins: biophysical and developmental diversity in a climate of change, Water International isssues, 35(5): 472-492.

Proskuryakova, L.N., Saritas, O., Sivaev, S., (2019), Global water trends and future scenarios for sustainable development: the case of Russia, water management, 170 (14): 867–879.

Sussman, N., Zohar, O., (2018), Has inflation targeting become less credible? BIS Working Papers, no 729:13-21.

Zhang, M., Lin, W., Bretherton, C. S., Hack, J. J., & Rasch, P. J., (2004), A modified formulation offractional stratiform condensation rate in the NCAR community atmospheric model CAM2, Geophysics Resource,108 (1): 102-117.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.7]