

Assessment of soil and water resources in the Gando Protected Area

Jalil Badamfirooz^{1✉} | Leila Sharifi²

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	ABSTRACT
Article type: Research Article	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 Gando 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.
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.	

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>

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 25°03'33"-26°16'17"N and longitude 61°09'44"-61°53'36"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



Kharazmi University

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences

Print ISSN: 2228-7736

Online ISSN: 2588-5138

<https://jgs.knu.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 m³, 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.

ارزیابی منابع آب و خاک در منطقه حفاظت شده گاندو

جلیل بادام فیروز^۱، لیلا شریفی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه پژوهشی اقتصاد محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران. رایانame: badam@rcesd.ac.ir
۲. دکترای اقلیم‌شناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
رایانame: Leyla.sharifi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
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	با ارزیابی کارکردها و خدمات اکوسیستمی مناطق حفاظت شده، می‌توان به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران آمایش سرزمین و توسعه پایدار در سطح منطقه و کشور کمک شایانی نمود. مطالعه حاضر به طور خاص به ارزیابی منابع آب و خاک در منطقه حفاظت شده گاندو و ارزش‌گذاری اقتصادی این خدمات می‌پردازد. به منظور 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. به منظور 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 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، ۲۷۲۹/۶۵ و ۶۷/۵۴ در دوره‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله به منظور تعیین ارزش اقتصادی کارکردهای این منابع در آینده استفاده شد. نتایج نشان داد که به طور مثال؛ با نرخ تنزیل (مركب) ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد سال، ارزش اقتصادی کارکرد تولید آب و حفاظت خاک به ترتیب به ۴۴۷۱/۸۲ و ۱۸۰۷۳۰/۱۳ میلیارد ریال برآورد شده است. از سه سناریو با نرخ‌های تنزیل ۱۵ درصد و در دوره ۳۰ سال، ارزش اقتصادی کارکرد تولید آب و حفاظت خاک به ترتیب به ۱۴/۱۷ و ۱۴/۳۵ درصد ارزش کلی منطقه می‌باشد.

استناد: بادام فیروز، جلیل؛ شریفی، لیلا (۱۴۰۴). ارزیابی منابع آب و خاک در منطقه حفاظت شده گاندو. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۵ (۷۷)، ۴۸۳-۴۶۶.

<http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.7>



© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

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 اکوسيستم برای رفاه انسان را نیز فراهم کند. به عنوان مثال، بسیاری از مناطق حفاظت‌شده به عنوان مخازن طبیعی برای تولید محصولات کشاورزی، آب و حفاظت خاک عمل می‌کنند (لورا و پالو^۱، ۲۰۲۰-۲۱۲). به طور کلی، خدمات اکوسيستمی مناطق حفاظت‌شده را می‌توان به شرح ذیل تقسیم‌بندی نمود: خدمات (۱) تولیدی (تولید غذا، فیبر و چوب)، (۲) تنظیمی (به عنوان مثال، تصفیه آب و تعدیل آب‌وهوا)، (۳) پشتیبان حیات (به عنوان مثال، چرخه مواد مغذی) و (۴) فرهنگی (به عنوان مثال، تفریح، الهام از زیبایی و هویت فرهنگی) (سراقی و همکاران، ۱۳۸۷؛ کاستانزا^۲ و همکاران، ۱۹۹۷؛ به عنوان مثال، تفریح، الهام از زیبایی و هویت فرهنگی) (سراقی و همکاران، ۱۳۳-۱۷۰؛ لورا و پالو^۳، ۲۰۲۰-۲۱۰؛ ایجاد و گسترش این مناطق در حال افزایش است. به طور مثال؛ در سال ۱۹۹۲، مناطق حفاظت‌شده تنها ۴ درصد از کره زمین را پوشش داده است. در حالی که 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 کیلومتر مربع) به صورت حفاظت‌شده نگهداری می‌شوند؛ که در مجموع شامل حدود ۲۱۸،۳۲۰ منطقه حفاظت‌شده را شامل می‌شوند (محمود^۴ 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، در حالی که برنامه‌ریزی زیرساخت‌های آن‌ها، یک فعالیت طولانی‌مدت است (پرسکوریاکوا^۵، ۱۳۹۸؛ ۸۶۷-۸۷۹، ۲۰۱۹)، معمتمدی 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^۶، ۲۰۱۴؛ ۲۲۵-۲۳۳، پرسکوریاکوا، ۲۰۱۹؛ ۸۶۷-۸۷۹). 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؛ ۱۳۹۹؛ ۲۷-۱، 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 تماسح تالایی، 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. به ویژه آن که 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 اکوسيستم‌ها ادامه داد. توجه به این نکته ضروری است که این موضوع در خصوص اکوسيستم‌های حساس و ارزشمندی مناطق حفاظت‌شده از اهمیت دوچندانی برخوردار می‌باشد.

¹ Laura & Paulo

² Costanza

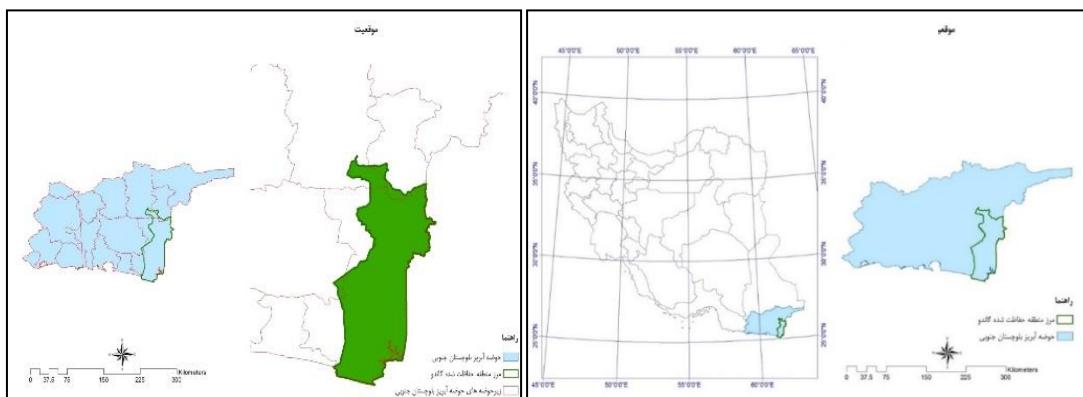
³ Mahmoud

⁴ Proskuryakova

⁵ McDonnell

روش تحقیق منطقه موردمطالعه

منطقه حفاظت شده 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°۱۶'۲۵" عرض شمالی و "۴۴°۶۱'۰۹" تا "۳۶°۶۱'۵۳" 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). از آنجایی که محدوده پایین دست 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 به صورتی عمل شود که تحلیل فرایندهای اکولوژیک از منظر دانش هیدرولوژی نیز به درستی قابل تفسیر باشد. لذا محدود موردمطالعه؛ منطقه حفاظت شده گاندو شکل (۱) و واحد هیدرولوژیک آن شکل (۲) می‌باشد.



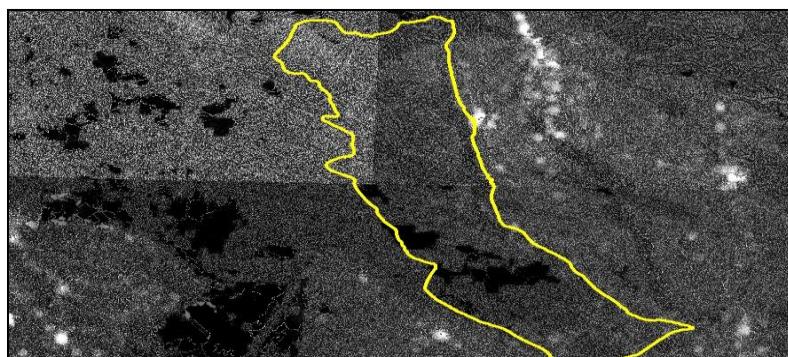
شکل (۲). زیر حوضه‌های آبریز بلوچستان جنوبی

شکل (۱). منطقه حفاظت شده گاندو در کشور

ارزیابی کارکرد آب و خاک

به منظور مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی تعادل آبی، حفاظت خاک، پیشگیری از کاهش کیفیت آب، از مدل WWPSS^۶ استفاده شد. این مدل، یک مدل فرایند-محور هیدرولوژیکی و مبتنی بر داده‌های دور سنجی است که در مقیاس‌های فضایی مختلف قابل استفاده است (مولیگان و بورک^۷: ۲۰۰۵؛ ۴۱-۵۳: ۲۰۱۰). شبیه‌سازی به کمک موزاییک‌های مربعی یک درجه‌ای (یک هکتار)، انجام می‌پذیرد (شکل ۳). چند مورد از کاربردهای مهم مدل در مجتمع 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^۸: ۲۰۰۸؛ ۴۹-۲۸)، استفاده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا جهت ارزیابی اثرات سوخت زیستی بر منابع آبی در ماداگاسکار (کوپن^۹: ۲۰۱۰؛ ۲۱-۵۷).

⁶ Water World Policy Support System⁷ Mulligan & Burke⁸ Maskey & Wallman⁹ Koppen



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

بودجه آبی در این مدل از طریق محاسبه مقدار بارش جابجا شده توسط باد و تجمعی 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^{۱۰}، ۷۶۹-۷۴۸: ۲۰۱۳). 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، ۴۹۲-۴۷۲: ۲۰۱۰). در این مدل ابتدا محصول سالانه آب Y (x) برای هر پیکسل در لندسکیپ x، از رابطه ۱ به دست می‌آید:

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

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):^{۱۱} (۳۱-۲۳) و زانگ و دیگران (۲۰۰۴: ۱۰۲-۱۰۷) پیشنهاد شده است (رابطه ۲)، تبدیل می‌شود:

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{Pl}{I} \right)^{\omega} \right] \quad \text{رابطه (۲).}$$

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

$$PET(x) = K_c(\ell_x) \cdot ET_0(x) \quad \text{رابطه (۳).}$$

که در آن: $ET_0(x)$ 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. $(K_c(\ell_x))^{\omega}$ تا حد زیادی به واسطه ویژگی‌های پوشش گیاهی در پوشش/کاربری موجود در یک پیکسل تعیین می‌شود. K_c مقدار ارزشی ET_0 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.

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

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 FIESSTA که متصل به WWPSS است گرفته می‌شود. S تائزانت گرادیان شبیب است که از مدل رقومی ارتفاع SRTM گرفته می‌شود. v ضریب پوشش گیاهی است که از سنجنده مودیس

¹⁰ Mulligan

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

$$T_C = Q^{1.7} \sin(S)^{0.001} (1 - V_C) \quad \text{رابطه (۵).}$$

انتقال رسوب S تابعی است از ورودی رسوب از بالادست به اضافه 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 عنوانین 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 به عنوان 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 $1/2$ - $1/7$ 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 به عنوان ورودی، ارزش اقتصادی تولید آب و حفاظت از خاک را بدین گونه محاسبه می‌نماید: $\text{هزینه جانشینی} = \text{هزینه تولید آب} / \text{حفاظت از خاک} * \text{نرخ تورم} - \text{تحفیف بازار}$. (تحفیف بازار به دلیل عدم موجودیت در این مطالعه محاسبه نشده است). روش هزینه جانشین از هزینه فراهم‌سازی جانشین‌ها به عنوان یک برآورد برای ارزش یک اکوسیستم یا خدمات آن استفاده می‌کند (ساسمن و زوهر^{۱۱}: ۲۰۱۸؛ ۲۱-۲۰^{۱۲}). ارزش‌های برآورده 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 قابل اتکا نیستند؛ بنابراین انجام دو نوع اصلاحات ضروری است (میشکین^{۱۲}: 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 تعیین شده ارزش برای زمان جاری است. منظور از ارزش واقعی نیز، مقدار تعدیل شده ارزش با توجه به اثر تورم می‌باشد. رابطه بین ارزش اسمی و ارزش واقعی به صورت رابطه (۶) است (ساسمن و زوهر، ۲۰۱۸: ۲۱-۲۰^{۱۳}):

$$\text{Nominal value}_{\text{period } x+1} = \text{Real value}_{\text{period } x} * (1 + p) \quad \text{رابطه (۶).}$$

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

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

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

$$\text{رابطه (۸).}$$

¹¹ Sussman& Zohar

¹² Mishkin

$$\text{Real value}_{\text{period } x} = \text{Nominal value}_{\text{period } x+t} / (1 + p)^t$$

پس از تعیین ارزش واقعی برای دوره زمانی x ، 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^{۱۳} از طریق گردش فواید خالص در سال پایه (t) و آینده ($t+5$)، دوره ۰، تنزیل موردنرسی (T) و نرخ تنزیل (r) طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

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

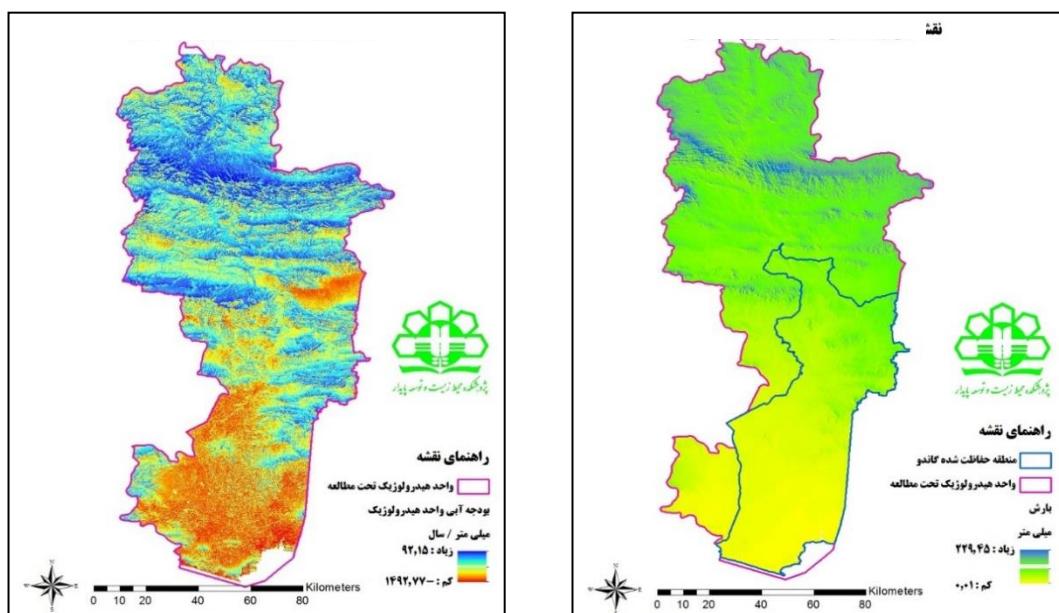
در این تحقیق با استفاده از معادلات مذکور ارزش خالص فعلی تولید آب و حفاظت از خاک برای دوره‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله با نرخ‌های تنزیل ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد برای هر دوره برآورد می‌شود.

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 ۱۰/۰۱، ۴۵/۲۲۹ و ۱۸/۱۲۶ 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 حداقل 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)

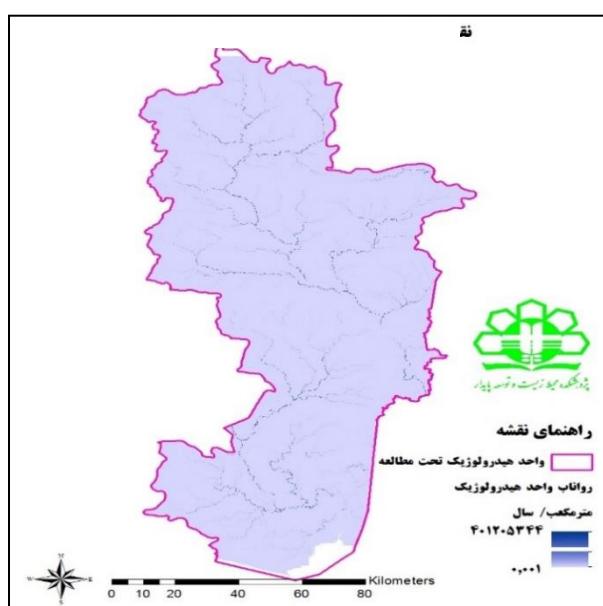
¹³ NPV: Net Present Value

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) محاسبه شده است. بر اساس محاسبات مدل، بودجه آبی اکوسیستم برای محدوده موردمطالعه به طور متوسط ۴۹۹/۲۶ کمینه ۱۴۹۲/۷۶ و بیشینه ۹۲/۱۵ میلی متر 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 به طور میانگین ۵۴۰ میلی متر در سال است. سهم مه در ارتباط با بارندگی به طور متوسط ۰/۶ درصد و مقدار آن ۰/۸۶ میلی متر در سال است که سهم بسیار کمی محسوب می‌گردد، اما طیف آن شامل صفر تا ۹/۶ میلی متر در سال است. در همین ارتباط با توجه به اینکه می‌بایست برای انجام ارزش‌گذاری اقتصادی خدمت اکوسیستمی تأمین آب، نرخ این خدمت به طور مشخص برای منطقه حفاظت شده نیز مشخص شود، نقشه بودجه آبی منطقه حفاظت شده نیز استخراج گردید شکل (۵). در این ارتباط مشخص شده که وضعیت بودجه آبی منطقه حفاظت شده به مراتب 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 میلی متر در سال است.

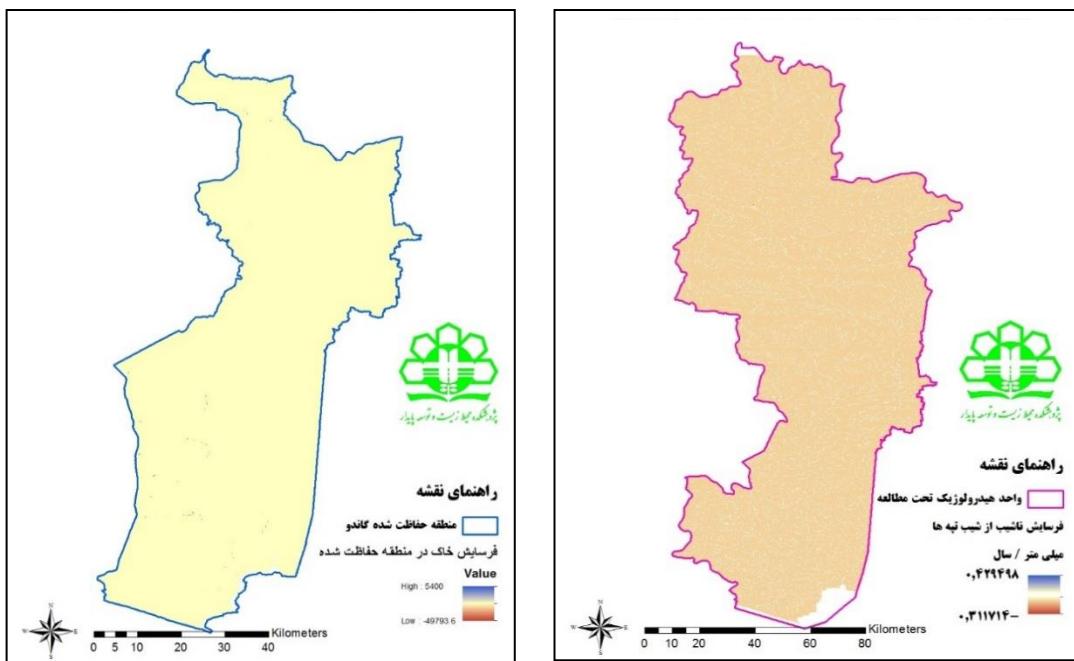
تولید رواناب در کل محدوده موردمطالعه

محاسبه میزان تولید آب توسط واحد هیدرولوژیک موردمطالعه بر مبنای محاسبه مقدار رواناب به صورت بودجه آبی انباشت شده در پایین دست شکل (۵) صورت گرفت. بر این اساس، کمینه، میانگین و بیشینه تولید رواناب در واحد هیدرولوژیک گاندو به ترتیب معادل صفر، ۴۰۱۴۷/۷۹ و ۴۰۱۲۰۵۳۴۴ مترمکعب در سال برآورد شد شکل (۶). با توجه به اینکه کل رواناب تولید شده در این واحد هیدرولوژیک بر اساس روابط بالادست- پایین دست واحد هیدرولوژیک در جهت شمال به جنوب جاری شده و درنهایت در جنوبی ترین قسمت منطقه حفاظت شده و در خور باهو تخلیه می‌گردد، مجموع آب تولیدی منطقه حفاظت شده 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)

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

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

اعداد منفی در مدل فرسایش WWPSS، نشان‌دهنده انباست 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 برآورده شده است، این وضعیت نشان‌دهنده رسوب‌گذاری خاک در سطح پهنه واحد هیدرولوژیک و عدم انتقال آن‌ها ناشی از شیب و در سطح کانال‌ها و مجاري 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 $۰/۰۱۳$ ، $۰/۴۹۷۹۳$ و $۰/۵۴۰$ میلی‌متر در سال بوده است. این اعداد حاکی از آن هستند که در وضعیت موجود، فرسایش خاک به عنوان یک معضل زیست‌محیطی مطرح نبوده و بر عکس با توجه به میانگین منفی آن، شرایط اکولوژیک حاکم بر خاک به‌گونه‌ای بوده که موجب ثبیت خاک نیز است. به عبارت دیگر در مجموع میزان رسوب‌گذاری خاک بیشتر از فرسایش آن در کل واحد هیدرولوژیک و انتقال آن به پایین‌دست است. با این حال 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 تناز خاک فرسایش یافته می‌باشد این مقدار در وزن مخصوص ظاهري خاک که برای محدوده موردمطالعه $۱/۶$ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است، ضرب می‌شود (رابطه ۱۰).

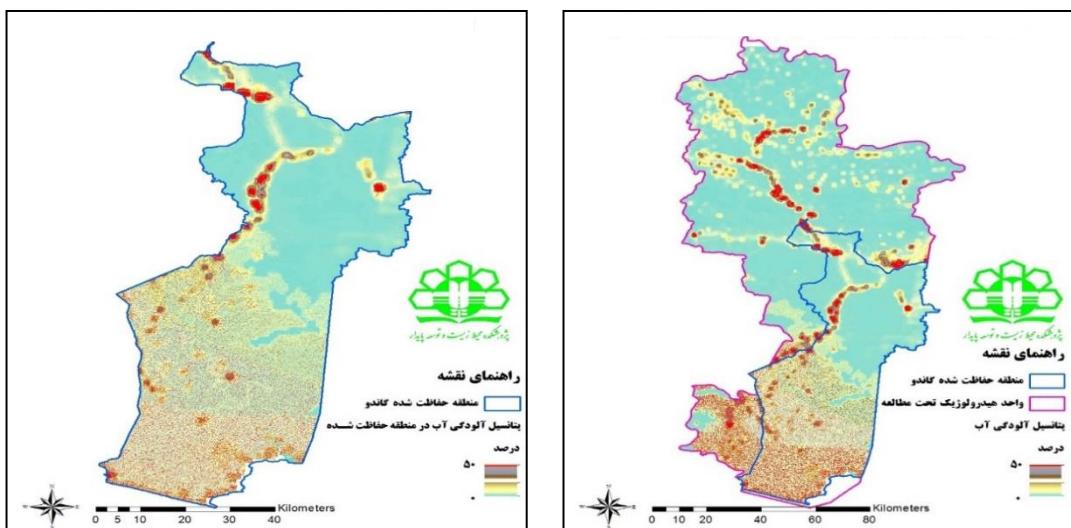
$$\text{رابطه (۱۰). } 0.011 \text{ mm/m}^2 = 10000 \text{ m}^2 * 0.000011 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 1.6 \text{ g/ha}$$

از این رو مقدار فرسایش خالص سالانه خاک معادل $۰/۰۱۷۶$ تن در هکتار برآورده 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)

ضرب شود، تناز 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 $۰/۷$ میلی‌متر در سال است؛ بنابراین با توجه به واقع شدن محدوده مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به نظر می‌رسد میانگین فرسایش خاک در محدوده مورد مطالعه در حدود آستانه مجاز است. برای تعیین کمیت تدارک این خدمت اکوسیستمی میزان اختلاف بین حداکثر و حداقل فرسایش خاک در پهنه حفاظت شده مبنای قضاوت قرار گرفت. این مقدار معادل $۵۵۱۹۳/۶۲$ - $۰/۶۲$ میلی‌متر در سال است. اگر همین مقدار با کمک رابطه (۹) به تن تبدیل شود، معادل $۸۸۳۰/۹۷-۰/۹۲$ 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 حفاظت شده 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 حفاظت شده، به دلیل گستردگی اراضی سکونتگاهی و بهویژه فعالیت‌های کشاورزی در داخل و زمین‌های هم‌جوار با مرز جنوب غربی منطقه حفاظت شده است. درمجموع پتانسیل آلودگی واحد هیدرولوژیک بین ۰ تا ۵۰ درصد و به صورت میانگین حدود ۳ درصد است. با این حال میانگین پتانسیل آلودگی آبهای سطحی در داخل منطقه حفاظت شده بالاتر و معادل $۴/۵$ درصد است شکل (۱۰).

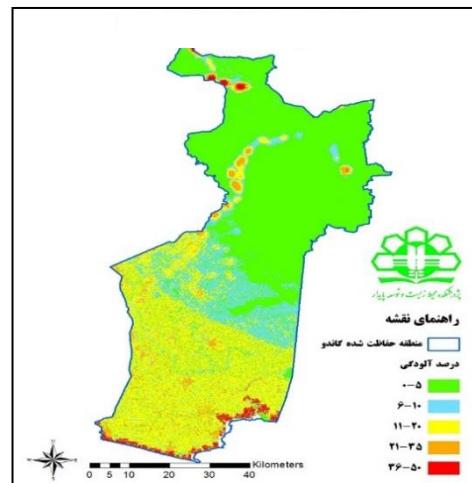


شکل (۹). ردپای آلودگی انسانی بر کیفیت آب‌های سطحی در واحد هیدرولوژیک گاندو

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

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

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



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 $40\,120\,5344$ مترمکعب در سال است. برای ارزش‌گذاری منابع آب از قیمت آب‌بهای ابلاغی استفاده شده است. آب‌بهای ابلاغی طبق روش جاری در کشور براساس قانون ثبتیت آب‌بهای زراعی معادل یک، دو و سه درصد؛ حاصل ضرب 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 این که روش عمدۀ 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 $174\,490/98$ ریال در هکتار می‌باشد؛ بنابراین با توجه به مساحت منطقه حفاظت‌شده گاندو، ارزش اقتصادی منابع آب منطقه برابر با $81/17$ میلیارد ریال می‌باشد. همچنین ارزش اقتصادی منابع آب هر هکتار $174\,000$ 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 30 سال گذشته طبق آمار بانک مرکزی $20/18$ درصد است، با توجه به این که ارزش برآورد شده برای 30 سال آینده تنزیل خواهد شد، لذا برای انجام اصلاح تورمی متوسط نرخ تورم 30 سال گذشته منظور می‌شود جدول (۳).

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

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

با توجه به جدول (۳) ارزش واقعی تولید آب در منطقه حفاظت شده 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 حفاظت شده گاندو را طی دوره های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ ساله نشان می دهد. البته با توجه به این که ارزش هر یک از کارکردهای منطقه موردمطالعه در دوره های مذکور آینده نامشخص است، تمامی ارزش های فعلی با نرخ مرکب به زمان آینده برده می شود تا ارزش آن ها در ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ سال آینده مشخص شود. نرخ تنزیل زیست محیطی در بسیاری از مطالعات بین المللی تقریباً ۸ درصد در نظر گرفته شده است، اما در ایران با توجه به اولویت بخشی به بهره برداری های کوتاه مدت نسبت به استفاده های پایدار از منابع اکولوژیک، انتظار می رود که این نرخ بالاتر در نظر گرفته شود. لذا در این تحقیق، از سه سناریو با نرخ های تنزیل (مرکب) ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد به منظور تعیین ارزش کارکردهای موردنظر استفاده شده است.

جدول (۴). ارزش اقتصادی کارکرد تولید آب در منطقه حفاظت شده 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 حفاظت شده (میلیارد ریال)
۵ ساله	۰/۲۱	۹۸/۶۱	۸
۱۰ ساله	۰/۲۵	۱۱۸/۸۷	۱۲
۱۵ ساله	۰/۲۹	۱۳۵/۷۵	۱۵
۱۵ ساله	۰/۳۱	۱۴۵/۲۱	۸
۱۵ ساله	۰/۴۵	۲۱۰/۰۵	۱۲
۱۵ ساله	۰/۶	۲۷۲/۸۶	۱۵
۱۵ ساله	۰/۴۶	۲۱۴/۱	۸
۱۵ ساله	۰/۷۹	۳۶۹/۴۴	۱۲
۱۵ ساله	۱/۱۷	۵۴۹/۷۷	۱۵
۳۰ ساله	۱/۴۵	۶۷۹/۴۵	۸
۳۰ ساله	۴/۳۱	۲۰۲۳/۵	۱۲
۳۰ ساله	۹/۵۳	۴۴۷۱/۸۲	۱۵

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 بهره وری خاک برآورد می شود. در این روش، هزینه های جایگزینی مواد غذایی به صورت مستقیم و بر مبنای تخلیه عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، با در نظر گرفتن تراز مواد غذایی و قیمت خرده فروشی کود شیمیایی برآورد می شود. میزان عناصر موردنیاز گیاه به درصد خاک مرتّعی، برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۰۳ و ۰/۰۲ درصد از خاک

^{۱۴} مجموع ارزش برآورد شده منابع آب برای منطقه حفاظت شده گاندو^{۱۵} اصلاح شده تورمی بر اساس رابطه ۹^{۱۶} Total Net Present Value

می‌باشد که با فرسایش خاک این میزان از عناصر اساسی خاک از بین می‌رود. کود NPK، در بازار با قیمت هر کیلوگرم ۲۲۵۰۰ ریال فروخته می‌شود؛ بنابراین می‌توان به این ترتیب 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)
۱۰۸۰	۲۴۳	نیتروژن (N)
۲۷۰۰	۶۰۷/۵	فسفر (P)
۱۰۸۰۰	۲۴۳۰	پتاسیم (K)
۱۴۵۸۰	۳۲۸۰/۵	جمع
۰/۰۳۱	۶/۹۸	جمع در هکتار

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 = 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	۸/۵	۳۹۸۵/۲۹	۳۹۸۵/۲۹
۱۲	۱۰/۲۲	۴۸۰۴/۱۸	۴۸۰۴/۱۸
۱۵	۱۱/۶۸	۵۴۸۶/۶	۵۴۸۶/۶
۱۰	۱۲/۵	۵۸۶۸/۷۵	۵۸۶۸/۷۵
ساله	۱۸/۰۷	۸۴۸۹/۲۱	۸۴۸۹/۲۱
۱۵	۲۳/۵	۱۱۰۲۷/۷۹	۱۱۰۲۷/۷۹
۱۵	۱۸/۴۲	۸۶۵۲/۹۹	۸۶۵۲/۹۹
ساله	۳۱/۷۸	۱۴۹۳۱/۱۹	۱۴۹۳۱/۱۹
۱۵	۴۷/۳	۲۲۲۱۹/۳۵	۲۲۲۱۹/۳۵
۳۰	۵۸/۴۵	۲۷۴۶۰/۲۸	۲۷۴۶۰/۲۸
ساله	۱۷۴۰/۷	۸۱۷۸۰/۳۱	۸۱۷۸۰/۳۱
۱۵	۳۸۴/۷	۱۸۰۷۳۰/۱۳	۱۸۰۷۳۰/۱۳

نتیجه‌گیری

کمینه، بیشینه و میانگین بودجه آبی در منطقه حفاظت شده گاندو، هر سه منفی و به ترتیب معادل $-1492/76$ ، $-38/04$ و $-639/24$ میلی‌متر در سال است که نشان‌دهنده کمبود بارشی معادل 639 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 پایین دست به نظر می‌رسد که عمدۀ آلوگی‌های 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 آلوگی در پایین دست، تفاوت میانگین پتانسیل آلوگی بین واحد هیدرولوژیک و منطقه حفاظت شده کم و حدود $1/5$ درصد است. این معیار می‌تواند معرف خدمات پالایش آلایندگان را توسط منطقه حفاظت شده و اجزای آن از جمله پوشش گیاهی رود کناری و توان خودپالایی آب‌های جاری باشد که به عنوان یک خدمت اکوسیستمی مهم قابل ارزیابی است. در مطالعات (مک دانل، ۲۰۱۴؛ ۲۲۵-۲۳۳؛ محمود و همکاران، ۲۰۱۹؛ ۲۱۲-۲۰۰) این مسئله نیز موردنبررسی و تأیید قرار گرفته شده است. همچنین کارکرد خدمت اکوسیستمی منطقه حفاظت شده گاندو موجب جلوگیری از فرسایش حدود ۹۰۰ هزار تن خاک در سال است. به عبارت دیگر وجود منطقه حفاظت شده سالانه از فرسایش ۲ تن در هکتار خاک منطقه جلوگیری می‌نماید. این بدین مفهوم است که منطقه حفاظت شده 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؛ ۸۶۷-۸۷۹؛ ماسکی و والمن، ۲۰۰۸؛ ۴۹-۲۸؛ مولیگان، ۲۰۱۳؛ ۷۶۹-۷۴۸) نیز کارکرد حفاظتی خاک از منظر کاهش فرسایش خاک را یکی از مهم‌ترین خدمات مناطق حفاظت شده می‌دانند. ارزش منابع آب موجود در منطقه حفاظت شده گاندو در سال ۱۳۹۸، $67/54$ میلیارد ریال برآورد شده است که با توجه به گزارش ارزش‌گذاری اقتصادی کالاها و خدمات اکوسیستمی منطقه حفاظت شده گاندو معادل $1/35$ درصد ارزش کل منطقه ارزش کل حفاظت خاک $2729/65$ میلیارد ریال می‌باشد که بنابر همین گزارش، برابر با $14/17$ درصد ارزش کل منطقه است. ارزش خالص فعلی توان تولید آب و حفاظت خاک با کسر بار تورمی و لحاظ نرخ‌های تنزیل متفاوت (12% و 15%) 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. بدین صورت که ارزش خالص حفاظت خاک در ۳۰ سال آینده با نرخ‌های تنزیل 12% و 15% درصد به ترتیب $27460/28$ ، $81780/31$ ، $180730/13$ میلیارد ریال خواهد شد. همچنین برای تولید آب در این منطقه حفاظت شده، با همین نرخ تنزیل، ارزش خالص تولید آب به ترتیب به $4471/82$ ، $2023/5$ ، $679/45$ 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 (۰۱۰-۴۹۲-۴۷۲؛ ۲۰۱۰) نیز این مسئله را تأیید می‌کند. البته با توجه به بالاتر بودن متوسط نرخ تورم در نظر گرفته شده ($20/18$ درصد) از نرخ طیفی تنزیل $15-8$ 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 محیط‌زیستی مانند همه کالاها و خدمات دیگر اقتصادی، بلامانع به نظر می‌رسد.

در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق، از مزیت‌های قابل توجهی در فرایندهای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در حوزه‌های توسعه و محیط‌زیست برخوردار است. نتایج حاصل از برآوردهای کمی بیوفیزیکی می‌تواند به استفاده از این روش مدل‌سازی در انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی بهویژه در مناطق حفاظت شده کشور کمک نماید و بدین ترتیب سنجش‌های دقیق‌تر کمی (بر اساس واحدهای متريک) را با برآوردهای توصیفی راچ که عمدتاً مبتنی بر گزاره‌هایی چون توان کم، متوسط، زياد

و... هستند، جایگزین نماید. کاربرد این مدل و سایر مدل‌های کمی سازی خدمات اکوسيستمی می‌تواند موجب افزایش دقت ارزیابی‌های زیستمحیطی شود و بدین ترتیب کارایی ارزیابی محیط‌زیستی به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری را بهبود بخشد. از سوی دیگر سیاست‌گذاری‌های توسعه‌ای عمده‌ای بر مبنای منافع اقتصادی ملموس و آنی انجام می‌شوند. این در حالی است که در حال حاضر بسیاری از ارزش‌های اقتصادی محیط‌زیستی برای تصمیم‌گیران ناملموس هستند؛ بنابراین کمیت‌های قابل برآورده 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 اکوسيستم‌های 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 (TOPSIS و Entropy، SAW)، پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۴(۲۲)، ۱-۲۷.
- خلیلی افسانه؛ متاجی اسدالله؛ ثاقب طالبی خسرو و حجتی سیدمحمد. (۱۳۹۹). تغییرات مقدار چگالی، زی توده، ذخیره‌ی کربن و نیتروژن چوب خشک دارهای راش و ممرز بر حسب 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 نهادند با تأکید بر مدل SWOT، 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، محمدمعلی. (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.

- 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* issstues, 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.