

## Generalized reconnaissance quantification of soil erosion damage due to potassium and phosphorus loss in second-order watersheds of Iran

Reza Chamani, Seyed Hamidreza Sadeghi\*, Marjan Bahlekeh

Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

\* Corresponding author: [sadeghi@modares.ac.ir](mailto:sadeghi@modares.ac.ir)

(Received: 03 September 2024

Revised: 17 November 2024

Accepted: 14 December 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** The population of the world is growing at an unprecedented rate, and the demand for food is expected to increase dramatically in the coming decades, placing enormous pressure on the agricultural sector. In this regard, developing countries are forced to use more chemical fertilizers. However, chemical inputs often have harmful effects on the surrounding environment due to their improper and disproportionate use in the form of chemical fertilizers. These effects include the degradation of water and soil resources, air pollution, and soil erosion. Soil erosion and loss of nutrients under its influence are some of the most critical concerns in the sustainable provision of human needs over time. In this regard, Iran, located in the Mediterranean climate and with lands sensitive to erosion, is witnessing soil erosion and the depletion of food resources. On the other hand, the loss of nutrient resources in the soil has caused a decrease in agricultural production and an increase in the cost of production, resulting in the degradation of the soil.

**Materials and methods:** In this research, we evaluated the cost of replacing lost nutrients in different land-uses. We collected previous soil erosion studies in different areas of Iran and determined the amount of erosion in different land-uses as well as the amount of phosphorus and potassium in each kilogram of eroded soil. We used Iran's land-use map from Sentinel-2 products in 2021 which has a spatial accuracy of 10 meters. Finally, we estimated the cost of soil erosion in the second-order watersheds of Iran using the alternative cost method based on the price of the mentioned elements.

**Results and Discussion:** Quantitative evaluation of lost elements in rangeland, agricultural and forest land-uses showed that forest lands had the highest mean amount of potassium and phosphorus losses, at 364.98 and 16.30 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. Additionally, the Talesh-Anzali Wetland Watershed has the lowest replacement cost for phosphorus and potassium, at 2943.90 and 61591.40 million Rials, respectively, and the Central Desert Watershed, with the main land-use of rangeland, has the highest replenishment cost at 413188.79 and 8644609.73 million Rials, respectively. In terms of agricultural land-use, the South Baluchistan Watershed has the lowest phosphorus and potassium replacement cost, at 41.08 and 994.02 and the Salt Lake Watershed has the highest, at 48419.64 and 445.310 million Rials, respectively. In watersheds with forests, the Atrak Watershed has the lowest cost, at 55.42 and 1240.84 million Rials, and the Haraz and Qarasu Watersheds have the highest replacement costs for phosphorus and potassium, at 7277.60 and 162955.71 million Rials. Regarding alternative costs, the Talesh-Anzali Wetland Watershed, with 234,114, and the Central Desert Watershed, with 9,299,886 million Rials, have the lowest and highest costs, respectively. In addition, the replacement costs of phosphorus and potassium elements in rangelands were estimated at about 60319513, in agricultural lands at 3808598, and in forest lands at 557882 million Rials.

**Conclusion:** As the research results showed, only the loss of two elements, phosphorus, and potassium, can cause direct and indirect economic losses. At the same time, the soil is rich in other vital nutrients and living organisms, whose replacement costs will be irreparable for Iran. Therefore, it is necessary to evaluate the damage caused by the loss of other elements and the amount of wind erosion in future research to better understand the damage caused to the country under the influence of soil erosion. In addition, in estimating the value of soil maintenance with the alternative cost approach, the cost of labor for spraying fertilizer and the cost of reconstruction and renovation of damage caused by soil erosion should also be included in the calculations. Considering such components, the mentioned figures will increase significantly, and the value of resources in maintaining soil fertility will be further confirmed.

**Keywords:** Erosion Economics, Erosion Monitoring, Integrated Watershed Management, Nutrients Loss, Soil Loss.

Citation: Chamani, R., Sadeghi, S.H.R., & Bahlekeh M. (2025). Reconnaissance generalized quantification of soil erosion damage due to potassium and phosphorus loss in second-order watersheds of Iran. *Integrated Watershed Management*, 2(5), 94-112. doi= 10.22034/iwm.2024.2040215.1172

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



# کمی‌سازی اجمالی تعمیم‌یافته خسارت فرسایش خاک ناشی از هدررفت پتاسیم و فسفر در آبخیزهای رده دوم ایران

رضا چمنی، سیدحمیدرضا صادقی\*، مرجان بهلکه

گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

\*نویسنده مسئول: [sadeghi@modares.ac.ir](mailto:sadeghi@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

## چکیده مبسوط

**مقدمه:** جمعیت جهان با سرعت بی‌سابقه‌ای در حال رشد است، انتظار می‌رود که تقاضا برای غذا در دهه‌های آینده به طرز چشمگیری افزایش یابد که فشار زیادی را بر بخش کشاورزی وارد می‌کند. در این راستا کشورهای درحال توسعه ناگزیر به استفاده از کودهای شیمیایی شده‌اند. لذا نهادهای شیمیایی غالباً در قالب استفاده نامناسب و نامتناسب از کودهای شیمیایی اثرهای زیان‌باری بر محیط اطراف می‌گذارد که از آن جمله می‌توان به تخریب منابع آب و خاک، آلودگی هوا و فرسایش خاک اشاره کرد. فرسایش خاک و هدررفت عناصر غذایی تحت تأثیر آن، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تأمین پایدار نیازهای انسانی در طول زمان بیان شده است. ایران نیز با قرارگیری در اقلیم مدیترانه‌ای و برخورداری از اراضی حساس به فرسایش شاهد فرسایش خاک و هدررفت منابع غذایی است. از طرفی دیگر هدررفت منابع غذایی خاک سبب کاهش تولیدات زراعی و افزایش هزینه تولید و در نتیجه تخریب خاک شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش سعی شده است میزان هزینه ناشی از جایگزینی مواد غذایی هدررفته در کاربری‌های مختلف، مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس ابتدا مطالعات پیشین فرسایش خاک در حوزه‌های مختلف ایران گردآوری شد. سپس میزان فرسایش در کاربری‌های مختلف و همچنین میزان فسفر و پتاسیم موجود در هر کیلوگرم خاک فرسایش یافته تعیین شد. نقشه کاربری اراضی ایران نیز از خروجی قابل تهیه Sentinel-2 با دقت مکانی ۱۰ متر برای سال ۲۰۲۱ استفاده شد. درنهایت با استفاده از روش هزینه جایگزین و بر اساس قیمت عناصر مذکور، میزان هزینه فرسایش در آبخیزهای رده دوم کشور برآورد شد.

**نتایج و بحث:** ارزیابی کمی عناصر از دست‌رفته در کاربری‌های مرتع، زراعی و جنگل نشان داد که اراضی جنگلی بیش‌ترین میزان متوسط هدررفت پتاسیم و فسفر به ترتیب با مقدار ۳۶۴/۹۸ و ۱۶/۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم را داشته است. طبق نتایج این پژوهش حوزه آبخیز تالش-تالاب انزلی به ترتیب با ۲۹۴۳/۹۰ و ۶۱۵۹۱/۴۰ میلیون ریال کم‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم و آبخیز کویر مرکزی به ترتیب با ۴۱۳۱۸۸/۷۹ و ۸۶۴۴۶۰۹/۷۳ میلیون ریال بیش‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم در کاربری مرتع را دارند. در کاربری زراعی نیز حوزه آبخیز بلوچستان جنوبی با ۴۱/۰۸ و ۹۹۴/۰۲ کم‌ترین و دریاچه نمک با ۴۸۴۱۹/۶۴ و ۴۴۵۳۱۰/۹۳ میلیون ریال بیش‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم را به خود اختصاص داده‌اند. در آبخیزهای دارای جنگل نیز آبخیز اترک با ۵۵/۴۲ و ۱۲۴۰/۸۴ میلیون ریال کم‌ترین و آبخیز هراز و قره‌سو با ۷۲۷۷/۶۰ و ۱۶۲۹۵۵/۷۱ میلیون ریال بیش‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم را به خود اختصاص داده‌اند. به لحاظ هزینه‌های جایگزین نیز به‌طور متوسط آبخیز تالش-تالاب انزلی با ۲۳۴۱۱۴ و آبخیز کویر مرکزی با ۹۲۹۹۸۸۶ میلیون ریال کم‌ترین و بیش‌ترین هزینه را به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر این هزینه‌های جایگزین عناصر فسفر و پتاسیم در اراضی مرتعی ۶۰۳۱۹۵۱۳، در اراضی زراعی ۳۸۰۸۵۹۸ و در اراضی جنگلی ۵۵۷۸۸۲ میلیون ریال برآورد شد.

**نتیجه‌گیری:** همان‌طور که نتایج پژوهش نشان داد فقط هدررفت دو عنصر فسفر و پتاسیم می‌تواند خسارت‌های اقتصادی زیادی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در حوزه‌های آبخیز اصلی کشور در پی داشته باشد. حال اینکه خاک غنی از سایر مواد مغذی، عناصر حیات و موجودات زنده است که هزینه‌های جایگزینی آن برای کشور غیرقابل جبران خواهد بود. لذا ضروری است در پژوهش‌های آتی خسارت ناشی از هدررفت سایر عناصر و همچنین میزان فرسایش بادی را برای درک بهتر خسارت وارده به کشور تحت تأثیر فرسایش مورد ارزیابی قرار داد. همچنین در برآورد ارزش نگهداری خاک با رویکرد هزینه جایگزین باید هزینه نیروی کار برای کودپاشی و هزینه بازسازی و نوسازی خسارت‌های ناشی از فرسایش خاک نیز در محاسبات منظور شود. بدیهی است با احتساب چنین مؤلفه‌هایی رقم‌های یادشده افزایش چشمگیری می‌یابند و ارزش منابع از لحاظ حفظ حاصلخیزی خاک را بیش از پیش محرز می‌نماید.

**کلمات کلیدی:** اقتصاد فرسایش، پایش فرسایش، مدیریت جامع آبخیز، هدررفت خاک، هدررفت عناصر غذایی.

**استناد:** چمنی، ر.، صادقی، س.ح.ر.، و بهلکه، م. (۱۴۰۴). کمی‌سازی اجمالی تعمیم‌یافته خسارت فرسایش خاک ناشی از هدررفت پتاسیم و فسفر در آبخیزهای رده دوم ایران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۲)، ۹۴-۱۱۲.

## حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی در بخش کشاورزی تأمین پایدار مواد غذایی برای جمعیتی است که به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است و ناگزیر به افزایش قابل‌توجه تولید محصولات کشاورزی است. این در حالی است که از بین رفتن بوم‌سازگان، کاهش تنوع زیستی، فرسایش خاک، آلودگی منابع آبی و افزایش گازهای گلخانه‌ای از جمله تأثیرات منفی گسترش بی‌رویه تولیدات کشاورزی بر محیط‌زیست است (Huzenko & Kononenko, 2024). علاوه بر این، تخریب محیط‌زیست می‌تواند به ناپایداری تولیدات محصولات کشاورزی منجر شده و از این طریق بر درآمدهای کشاورزی و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد که این چالش به‌ویژه در کشورهای پیشگام در بخش کشاورزی نگران‌کننده است.

اگرچه بنابر نظر دانشمندان این افزایش تولید به‌تنهایی نمی‌تواند با توسعه منطقه‌ای کشاورزی در جهان انجام پذیرد، اما به‌طور عمده با افزون‌سازی تولید در منطقه‌های حاصلخیز و استفاده از خاک‌های با حاصلخیزی کمتر امکان‌پذیر است. این عمل برای کشورهای در حال توسعه به‌معنای افزایش کاربرد کود، افزایش تقاضای آب و به‌کارگیری آفت‌کش‌های شیمیایی است (Vasta et al., 2024). در این راستا کودها یکی از اجزای ضروری در اراضی زراعی است که در صورت استفاده نامناسب از آن مسئله‌هایی نیز ایجاد خواهد شد (Yahaya et al., 2023).

مصرف بی‌رویه کودها و سموم شیمیایی غلظت محلول خاک را تا حد زیادی افزایش می‌دهد که این افزایش باعث برهم خوردن تعادل عناصر غذایی می‌شود، این عدم تعادل جذب عناصر غذایی و املاح موجود در خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (FAO, 2018). در این راستا بررسی‌های مصرف کود در جهان روندی افزایشی دارد، به‌طوری‌که بنابر آمار، در سال ۲۰۱۶ کاربرد کودهای شیمیایی ۱۹۷/۵ میلیون تن در جهان بوده است (Cui et al., 2021). مصرف کودهای شیمیایی در

ایران نیز از سال ۱۳۲۵ با واردات ۱۱ تن از انواع کودهای شیمیایی آغاز شد و از سال ۱۳۳۰ وزارت کشاورزی واردات کود به کشور را به عهده گرفت. در ابتدا، تعادل نسبتاً خوبی بین مصرف کودهای آلی و شیمیایی وجود داشت ولی این تعادل دوام چندانی نیافت، به‌طوری‌که از اواسط دهه پنجاه مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه مصرف کودهای ازته، فسفات و پتاسیمی بیش‌تر از بقیه کودها رایج شد (Karimian, 2012). مصرف کودهای شیمیایی در ایران هم‌چنان رو به افزایش است، به نحوی‌که میزان مصرف آن‌ها از ۲/۲ میلیون تن در سال ۱۳۷۸ به ۲/۷ میلیون تن در سال ۱۳۹۷ رسیده است (Anonymous, 2020). ناآگاهی از کاربرد بهینه کودهای شیمیایی به مصرف بیش‌ازحد و نادرست این کودها در کشاورزی ایران منجر شده که افزون بر تحمیل هزینه‌های سنگین، آلودگی محیط‌زیستی را نیز در پی داشته است (Atlasroody et al., 2024). از سوی دیگر با تخریب محیط‌زیست و فرسایش خاک کشاورزان مجبور هستند جنگل‌ها و منابع طبیعی بیش‌تری را به کشت‌زار تبدیل کرده و سطح مصرف کودهای شیمیایی را افزایش دهند و این فعالیت‌ها موجب افزایش میزان فرسایش خاک می‌شود. فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیط‌زیستی در سراسر جهان است که باعث تخریب شدید زمین می‌شود و تهدیدی جدی برای سلامت و رفاه انسان به‌شمار می‌آید (Sadeghi et al., 2021; Chamani et al., 2023; Wang et al., 2024). فرسایش خاک باعث از دست رفتن مواد مغذی مهم خاک مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و هم‌چنین رطوبت خاک شده و کاهش بهره‌وری خاک را در پی دارد. از این‌رو آگاهی از وضعیت فرسایش از ملزومات اتخاذ راهبردهای حفاظتی و مدیریتی برای مدیریت فرسایش است (Sadeghi & Najafi, 2014).

طبق برآوردهای صورت گرفته سالانه بیش از ۲۳ میلیارد تن خاک از طریق اراضی زراعی در سطح جهان از دسترس خارج می‌شود که به معنای هدررفت خاک موجود در جهان با نسبت هفت درصد در هر دهه است

بر فرسایش در ایران پرداختند. در این پژوهش برآوردی از تغییرات سالیانه عناصر خاک و ارزش آن با استفاده از اطلاعات حاصل از برداشت‌های صحرائی در عرصه خاک صورت گرفته است. یافته‌های پژوهش نشان داد که با افزایش شیب مزرعه و عمق خاک زراعی میزان کاهش سالیانه متغیرهای خاک به ترتیب افزایش و کاهش یافته و میزان افت سالیانه و ارزش عناصر خاک تحت مدیریت شخم عمود بر شیب بسیار کم‌تر از شخم موازی با شیب است. همچنین متوسط ارزش عناصر از خاک که در اثر فرسایش کاهش یافته برابر با ۱۷۴۵۱۱ ریال در هکتار برآورد شده که با در نظر گرفتن ارزش کودهای شیمیایی مورد استفاده برای بازگرداندن حاصلخیزی از دست‌رفته برابر با ۲۰۴۴۱۱ ریال در هکتار شده است. با توجه به یافته‌ها، تعیین برنامه کودی بر اساس مدیریت شخم، شیب، عمق و بافت اراضی زراعی، توجه به اثرات اقتصادی فرسایش در فقر خاک و به‌ویژه رطوبت در اراضی دیم و ترویج برنامه‌های حفاظت خاک حائز اهمیت است. Baraniyan Kabir و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی دیگر تأثیر اقتصادی تبدیل مراتع خوب و ضعیف به دیم‌زار از نظر کارکردهای حفظ خاک در بخشی از منطقه فریدون‌شهر اصفهان را بررسی نمودند. در این پژوهش از روش هزینه جایگزین<sup>۲</sup> برای برآورد ارزش اقتصادی کارکردهای حفظ خاک در هر کاربری بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که ارزش اقتصادی کارکرد حفظ خاک هر هکتار از مرتع خوب و ضعیف در مقایسه با دیم‌زار به ترتیب حداقل ۲۰/۳۸ و ۱۳/۱۹ میلیون ریال در سال بیش‌تر بوده است که معادل منفعت اقتصادی سالیانه عدم تبدیل هر هکتار مرتع است. Kakeh و همکاران (۲۰۱۶) نیز به ارزیابی کمی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف در بخشی از اراضی جنوب شرق قزوین پرداخته‌اند. در این پژوهش ۱۷ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در پنج کاربری باغ، مرتع،

(Nosrati & Jalali, 2016). هم‌چنین فرسایش خاک در ایران از عوامل اصلی تهدیدکننده پایداری منابع و توسعه پایدار به‌شمار می‌رود (Sadeghi *et al.*, 2024)، به‌طوری‌که حدود ۳۶ درصد از زمین‌های زراعی و ۶۰ درصد از کل خاک‌های ایران در معرض خطر فرسایش قرار دارند (Heydarnejad *et al.*, 2020). در این راستا روش‌های زراعی متداول در جهان امروزه با اتکا بیش‌از‌حد به نهاده‌های مصنوعی و تزریق انرژی کمکی مانند کودها و سموم شیمیایی باعث ایجاد بوم‌سازگان‌های زراعی ناپایدار شده است (Cociu & Alionte, 2017). لذا برای تأمین غذای جمعیت در حال افزایش جهان، سامانه زراعی بایستی در آینده گسترده‌تر و پایدارتر شود. از طرفی دیگر بسیاری از خاک‌های زراعی مقدار کافی یک یا چند ماده مغذی ضروری گیاه را برای رشد بهینه نداشته و کشاورزان برای دست آوردن عملکرد بالاتر گیاهان زراعی به‌طور فزاینده‌ای به کودهای با منبع شیمیایی روی می‌آورند، اگرچه کودهای شیمیایی به رشد گیاه کمک شایانی می‌کنند، اما سبب بهبود شرایط خاک نمی‌شوند و استفاده مداوم از کودهای شیمیایی پرمصرف اثرات نامطلوبی بر منابع آب و خاک می‌گذارد (Atlasroody *et al.*, 2024). از این‌رو یکی از مواردی که در اکثر مطالعات مربوط به پایداری کشاورزی تأکید شده است، لزوم کاهش استفاده از کودهای شیمیایی است (Arslan *et al.*, 2017). زیرا استفاده از نهاده‌های شیمیایی و به‌خصوص کودهای شیمیایی به دلیل ایجاد فرسایش، سلامت خاک را به شدت تهدید کرده است (Zulfikar & Thapa, 2017) و به‌عبارتی دیگر موجب ورشکستگی خاک شده است. لذا تعیین ارزش اقتصادی خاک<sup>۱</sup> فرسایش یافته می‌تواند درک درستی از خسارت‌های وارد شده و ورشکستگی ایجادشده را نشان دهد. در این راستا Hosseini و Ghorbani (۲۰۰۵) به ارزیابی فقر مواد غذایی خاک به‌عنوان نگرشی اقتصادی

کردند. همان‌طور که ارزیابی‌های مختلف نشان می‌دهد تغییر کاربری اراضی و همچنین استفاده از کشاورزی فشرده اثرات منفی بر تولیدات زراعی، ارزش افزوده ناشی از آن و خسارت‌های اقتصادی داشته است. لذا جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ مواد مغذی آن می‌تواند با حفظ، افزایش و پایداری تولیدات زراعی نقش مهمی در زندگی گروداران داشته باشد. همچنین در صورت تداوم روند فعلی فرسایش کشور و هدررفت خاک و کاهش توان تولید آن، ورشکستگی خاک در عرصه ملی را در پی خواهد داشت. ارزیابی پیامدهای ناشی از دخالت انسان در طبیعت و تأمین نیاز روزافزون انسان به دریافت خدمات متنوع، بیش‌ازپیش ارزیابی عملکرد آبخیزها را ضروری ساخته است (Sadeghi *et al.*, 2022). براین اساس در این پژوهش به کمی‌سازی اجمالی خسارت فرسایش خاک و تعیین هزینه‌های ناشی از جایگزین خسارت‌های اقتصادی آن در آبخیزهای رده دوم کشور پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

برآورد هزینه‌های فرسایش خاک به روش هزینه جایگزینی به‌طور کلی مصرف کود در جهان طی ۱۰ سال گذشته افزایش یافته است، به‌طوری‌که تقاضا برای کل کودها در سال ۲۰۰۸ به میزان ۱۶۱ میلیون تن بوده و در سال ۲۰۱۸ به بیش از ۲۰۰ میلیون تن رسیده است. در این بین میزان مصرف فسفر و پتاسیم نشان داده‌اند که پرمصرف‌ترین کودها در جایگزین کردن مواد مغذی از دست رفته هستند (Savari & Gharechae, 2020). از این‌رو مصرف این کودهای شیمیایی طی ۱۰ سال گذشته عموماً به‌منظور افزایش بهره‌وری محصولات زراعی افزایش یافته است (Pimentel & Burgess, 2013). لذا در این پژوهش از جایگزینی کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم به‌منظور تعیین هزینه‌های ناشی از فرسایش استفاده شده است. روش‌های مختلفی برای برآورد ارزش خاک استفاده می‌شود که در بیش‌تر موارد روش‌های هزینه مبنا

زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده را بررسی کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کاربری‌های باغ و مرتع به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت خاک را به خود اختصاص می‌دهند اما کاربری‌های زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده دارای کم‌ترین کیفیت خاک هستند و تفاوت محسوسی با دو کاربری باغ و مرتع دارند. نتایج پژوهش Davoudi Moghaddam و همکاران (۲۰۱۶) در کرت‌هایی با ابعاد استاندارد ۱/۸×۲۲/۱ متر در هر یک از آبخیزهای نمونه و شاهد، در سه دامنه شرقی، غربی و شمالی و با سه تکرار و در مقیاس رگبارهای طبیعی طی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ نشان داد که اختلاف هدررفت خاک، غلظت نیتروژن، غلظت پتاسیم و غلظت رسوب در آبخیزهای نمونه و شاهد معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بوده، بدین صورت که مقادیر هدررفت خاک، غلظت نیتروژن، غلظت پتاسیم و غلظت رسوب در آبخیز شاهد به‌ترتیب ۱/۳۵ کیلوگرم، ۰/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۲۵۷/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۷/۹ گرم در لیتر و در آبخیز نمونه به‌ترتیب ۰/۱۷ کیلوگرم، ۰/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۴۰۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۴/۴۱ گرم در لیتر بود.

همچنین Keivan Behjou و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه حفاظت‌شده شیمبار در استان خوزستان ایران، به برآورد ارزش‌گذاری اقتصادی عناصر غذایی خاک پرداختند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، هر هکتار از جنگل‌های محدوده مطالعاتی می‌تواند با جلوگیری از فرسایش خاک و پیشگیری از نابودی تنها سه عنصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به میزان ۲۸۳۰۶۴۶۵ ریال از بروز خسارت جلوگیری کند. در پژوهشی دیگر Farsi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی نقش بوم‌سازگان طبیعی منطقه کچیک در مهار فرسایش خاک و تعیین ارزش اقتصادی حفاظت خاک براساس کارکرد حفظ حاصلخیزی خاک پرداختند. نتایج این پژوهش، ارزش عناصر اصلی حفظ‌شده در خاک کل آبخیز را برابر ۹/۲۱ میلیارد ریال در سال و ارزش هر هکتار بوم‌سازگان منطقه کچیک را ۲/۵۵ میلیون ریال در سال برآورد

## نتایج

### مقادیر فرسایش و عناصر فسفر و پتاسیم در کاربری‌های مختلف ایران

مقادیر مختلف فرسایش و میزان فسفر و پتاسیم موجود در هر کیلوگرم خاک در حوزه‌های آبخیز مختلف و همچنین کاربری‌های مرتع، جنگل، اراضی زراعی و باغ بر اساس مطالعات پیشین انجام شده گردآوری و در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود اراضی جنگلی، زراعی و مراتع به ترتیب ۶/۴۰، ۹/۰۸ و ۹/۲۲ تن بر هکتار به‌طور متوسط فرسایش را دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مراتع و اراضی بایر بیش‌ترین میزان فرسایش را نسبت به اراضی زراعی و جنگلی به خود اختصاص داده‌اند. در اراضی زراعی، جنگلی و مراتع متوسط (میانگین حسابی) میزان پتاسیم به ترتیب ۱۲/۴۵، ۱۶/۳۰ و ۱۵/۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و فسفر نیز ۳۰/۱۲۶، ۳۶۴/۹۸ و ۳۲۵/۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد. براین اساس اراضی جنگلی بیش‌ترین میزان سطح فسفر و پتاسیم را به خود اختصاص داده‌اند. آخرین نقشه کاربری کشور نیز در شکل ۱ و بر مبنای آبخیزهای رده دوم ایران نمایش داده شده است.

در پژوهش فعلی، میزان هدررفت مواد غذایی اصلی خاک به صورت غیرمستقیم و بر مبنای میزان فرسایش خاک در کاربری‌های اصلی کشور بر اساس مطالعات انجام‌شده و ابزارهای دورسنجی و در مقیاس آبخیزهای رده دوم کشور برای ایجاد شرایط مدیریت کلان منابع زیستی و غیرزیستی حوزه‌های آبخیز برآورد شد. برای تعیین نقشه کاربری ایران از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر برای سال ۲۰۲۳، استفاده شد.

هستند. از بین این روش‌ها، روش‌های هزینه جایگزین، هزینه فرصت از دست‌رفته<sup>۱</sup> و هزینه خسارت اجتناب‌شده<sup>۲</sup> از جمله روش‌هایی است که در ارزش‌گذاری خاک و کارکردهای آن بیش‌تر بکار می‌رود، در این پژوهش از روش هزینه جایگزین استفاده شده است. در این روش، محاسبه هزینه یک آسیب خاص و همچنین برآورد آن با استفاده از هزینه معادل یا جایگزینی است. به‌عنوان مثال اگر خطر فرسایش خاک در مزرعه برآورد شود، لازم است که از دست رفتن مواد مغذی ناشی از فرسایش محاسبه شده و با استفاده از هزینه معادل یعنی هزینه بازسازی خاک و با توجه به اقدامات زیر در آن جایگزین شود. این روش شامل الف) برآورد میانگین خاک از دست‌رفته در هر هکتار، ب) برآورد کاهش مواد مغذی قابل جبران خاک، ج) ارزش‌گذاری مواد از دست رفته مغذی خاک در هر هکتار با در نظر گرفتن هزینه حاصلخیزی جایگزین در بازار (عمدتاً کاهش عناصر غذایی اصلی فسفر و پتاسیم) است. بر همین اساس، جمع کل هدررفت مواد غذایی از رابطه (۱) برآورد می‌شود.

$$An = DnP + DnK \quad (1)$$

که در آن،  $An$  جمع کل هدررفت مواد غذایی،  $DnP$  و  $DnK$  به ترتیب میزان هدررفت فسفر و پتاسیم است. با در نظر گرفتن قیمت کودهای جانشین برای جبران عناصر از دست رفته خاک، ارزش اقتصادی عناصر با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$V = PKDK + PPDP \quad (2)$$

که در آن،  $PK$  و  $PP$  به ترتیب قیمت کودهای جانشین برای عناصر فسفر و پتاسیم و  $V$  ارزش اقتصادی کل عناصر به ریال است (Garshasbi et al., 2012). در این پژوهش قیمت هر کیلوگرم کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم براساس گزارش‌های موجود در سازمان‌های جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۳ حدود ۱۳۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد.

## جدول ۱- میزان فسفر، پتاسیم و فرسایش در کاربری‌های مختلف اراضی کشور

Table 1- The amount of phosphorus, potassium and erosion in different land-uses of Iran

میزان فرسایش (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	پتاسیم (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر (mg kg <sup>-1</sup> )	کاربری غالب	آبخیز/مکان	استان	نویسندگان
2.83	356.00	2.10	زراعی	بوکان	آذربایجان غربی	Miran <i>et al.</i> , (2020)
2.80	471.00	4.70	زراعی	مهاباد	آذربایجان غربی	Miran <i>et al.</i> , (2020)
14.17	470.00	9.49	مرتع	مغان	اردبیل	Keyvan Behjo & Firouzi Asl, (2018)
1.73	192.00	17.7	زراعی	روستای اسفرجان	اصفهان	Yahyaabadi <i>et al.</i> , (2021)
4.87	195.00	14.00	زراعی	مبارکه	اصفهان	Nasiri Dehsorkhi <i>et al.</i> , (2024)
4.73	276.80	13.97	زراعی	کاشان	اصفهان	Arab-Niasar <i>et al.</i> , (2023)
6.00	381.00	27.00	جنگل	دالاب	ایلام	Karami <i>et al.</i> , (2023)
-	316.00	7.20	زراعی	مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام	ایلام	Naseri <i>et al.</i> , (2020)
-	214.00	6.20	زراعی	ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله	ایلام	Naseri <i>et al.</i> , (2020)
12.63	275.00	1.70	زراعی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی	تهران	Mohammadi <i>et al.</i> , (2020)
7.80	250.50	13.50	مرتع	حوزه بهشت‌آباد	چهارمحال و بختیاری	Ziaei Jazzi & Zare Bidaki, (2019)
6.80	475.30	14.90	جنگل	سبزکوه	چهارمحال و بختیاری	Bakhtiari <i>et al.</i> (2009)
-	402.90	15.00	مرتع	کاخک	خراسان رضوی	Davoudi Moghaddam <i>et al.</i> (2016)
-	230.00	5.90	زراعی	جلگه نیشابور	خراسان رضوی	Taheri <i>et al.</i> (2024)
-	180.00	16.60	زراعی	دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	خراسان رضوی	Soltanian <i>et al.</i> (2021)
-	300.00	16.60	زراعی	مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بجنورد	خراسان شمالی	Rahimizadeh (2020)
-	559.10	3.70	جنگل	شیمبار	خوزستان	Behjou <i>et al.</i> (2016)
-	182.00	12.00	زراعی	آزمایشگاه شرکت کشت و صنعت نیشکر	خوزستان	Ranjbar <i>et al.</i> (2022)
6.99	340.00	10.00	مرتع	تهم	زنجان	Yeganeh <i>et al.</i> (2016)
-	239.00	2.40	زراعی	دانشگاه زنجان	زنجان	Piri Moghadam & Vaezi, (2020)
-	256.40	14.80	زراعی	مزرعه پژوهشی دانشگاه زابل	سیستان و بلوچستان	SoltanZadeh <i>et al.</i> (2022)
-	129.00	34.90	مرتع	کازرون	فارس	Bahrami <i>et al.</i> (2023)
17.55	331.00	13.20	زراعی	دشت آبیک	قزوین-البرز	Mousavi <i>et al.</i> (2022)
19.40	527.00	5.10	زراعی	سقز	کردستان	Miran <i>et al.</i> (2020)
21.00	494.00	6.80	زراعی	عرب اوغلو	کردستان	Miran <i>et al.</i> (2020)
-	181.00	10.00	زراعی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی	کرمان	Heidari <i>et al.</i> (2022)
6.00	549.00	10.20	زراعی	اسلام‌آباد غرب	کرمانشاه	Behrouzi <i>et al.</i> (2022)
6.30	400.00	1.44	زراعی	پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی	کرمانشاه	Safari <i>et al.</i> (2022)

ادامه جدول ۱- میزان فسفر، پتاسیم و فرسایش در کاربری‌های مختلف اراضی کشور

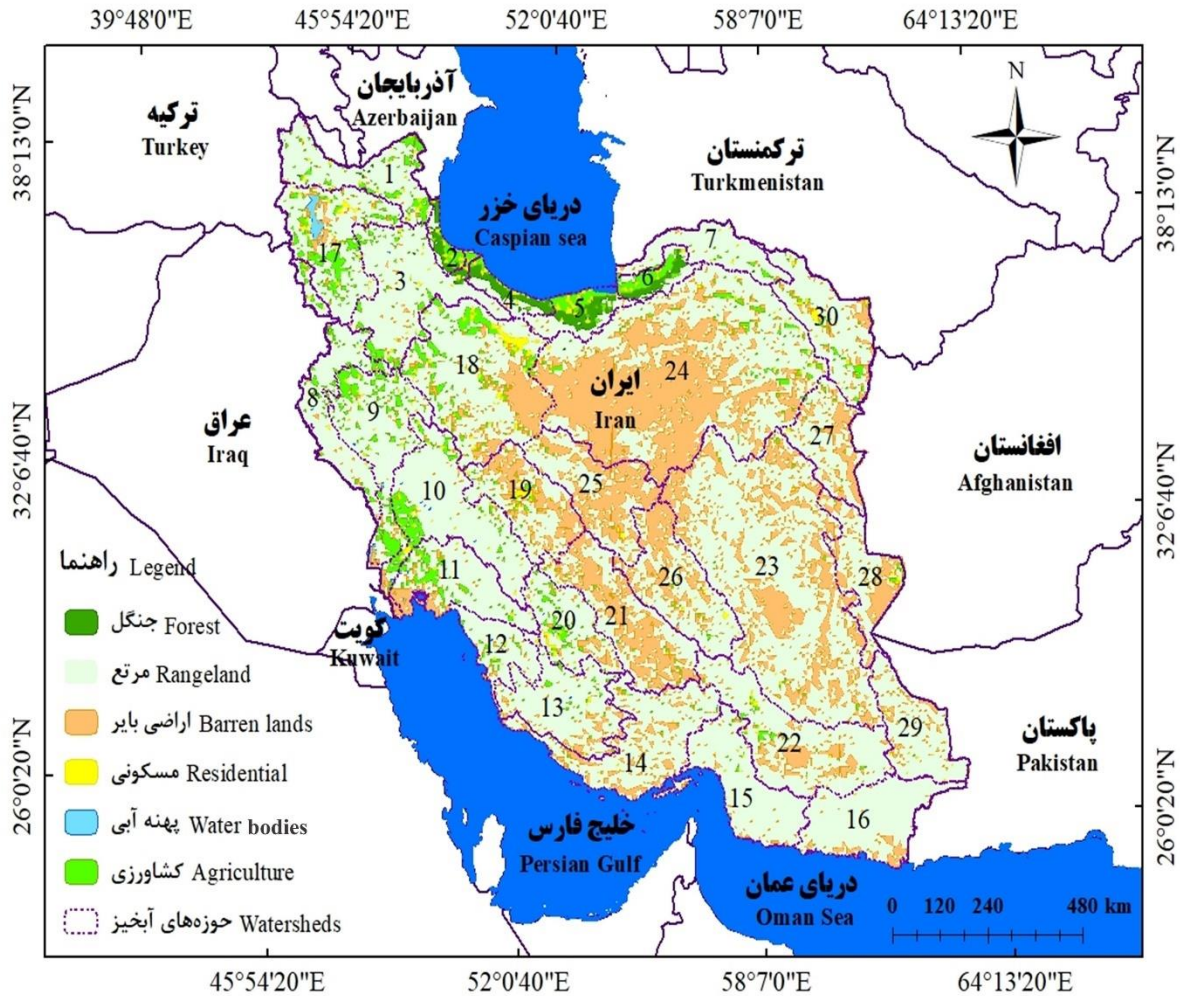
Table 1 Continued- The amount of phosphorus, potassium and erosion in different land-uses of Iran

میزان فرسایش (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	پتاسیم (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر (mg kg <sup>-1</sup> )	کاربری غالب	آبخیز/مکان	استان	نویسندگان
-	342.00	2.7	زراعی	نقاط مختلف استان	کهگیلویه و بویر احمد	Kasraian & Fazli, (2023)
7.94	310.00	3.50	مرتع	کچیک	گلستان	Farsi et al. (2021)
-	202.00	71.90	زراعی	باغ‌های چای	گیلان	Shirinfekr et al. (2023)
-	79.80	12.80	زراعی	گروه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه گیلان	گیلان	Bagheri et al. (2023)
-	238.19	14.55	جنگل	سراوان	گیلان	Yaghmaeian Mahabadi et al. (2017)
-	194.33	9.59	جنگل	لاهیجان	گیلان	Mojadadi et al. (2013)
-	403.30	24.00	تبدیل به مرتع	جنگل‌های خزری	مازندران	Mobarghaei, (2011)
-	137.26	5.66	زراعی	مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	مازندران	Alizadehgan et al. (2022)
-	342	28.10	جنگل	خیرود	مازندران	Samdaliri et al. (2021)
-	302.00	14.30	مرتع	سیرمند	هرمزگان	Bahrami et al. (2023)

### هزینه‌های جایگزین فرسایش

در جدول ۲ هزینه‌های جایگزین ناشی از فرسایش بر اساس عناصر پتاسیم و فسفر در آبخیزهای رده دوم کشور ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آبخیز تالش-تالاب انزلی به ترتیب با ۲۹۴۳/۹۰ و ۶۱۵۹۱/۴۰ میلیون ریال کم‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم و آبخیز کویر مرکزی به ترتیب با ۴۱۳۱۸۸/۷۹ و ۸۶۴۴۶۰۹/۷۳ میلیون ریال بیش‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم در کاربری مراتع را دارند. در کاربری زراعی نیز آبخیز بلوچستان جنوبی با به ترتیب ۴۱/۰۸ و ۹۹۴/۰۲ میلیون ریال کم‌ترین و دریاچه نمک با به ترتیب ۴۸۴۱۹/۶۴ و ۴۴۵۳۱۰/۹۳ میلیون ریال بیش‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم را به خود اختصاص داده‌اند. در آبخیزهای دارای جنگل نیز آبخیز اترک به ترتیب با ۵۵/۴۲ و ۱۲۴۰/۸۴ میلیون ریال کم‌ترین و آبخیز هراز و قره‌سو با به ترتیب ۷۲۷۷/۶۰ و ۱۶۲۹۵۵/۷۱ میلیون ریال بیش‌ترین هزینه جایگزینی فسفر و پتاسیم را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به شکل ۲ به‌طور متوسط نیز آبخیز تالش-تالاب انزلی با ۲۳۴۱۱۴ و آبخیز کویر مرکزی با

۹۲۹۹۸۸۶ میلیون ریال کم‌ترین و بیش‌ترین هزینه را به خود اختصاص داده‌اند. در این راستا میزان بارش‌های فصلی و نوع پوشش در اقلیم‌های مدیترانه‌ای (Langbein & Schumm, 1958; Gobin et al., 2003) نیز در میزان فرسایش بسیار حائز اهمیت است به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان بارش در زمانی اتفاق می‌افتد که کم‌ترین میزان پوشش گیاهی بر سطح خاک وجود دارد. این در حالی است که با توجه به میزان حداکثری بارش در مناطق مرطوب، درصد پوشش گیاهی در این مناطق بیش‌تر از ۵۰ درصد بوده و این موضوع خطر رخداد فرسایش را کم می‌کند. در مقابل در اقلیم‌های خشک با سطح خاک عمدتاً خالی از پوشش گیاهی، میزان هدررفت خاک بالاست. مناطق مرکزی با رژیم بارندگی مدیترانه‌ای به علت ضعیف بودن پوشش گیاهی، بارندگی‌های رگباری در این زیرآبخیزها منجر به ایجاد سیلاب و فرسایش شدید خاک می‌شود (Arabkhedri, 2014) و میزان خسارت فرسایش خاک زیرآبخیزهای واقع در این مناطق نیز نسبت به مناطق دیگر بیش‌تر برآورد شده است.



شکل ۱- پراکنش کاربری اراضی در آبخیزهای رده دوم کشور

Figure 1- Distribution of land-use in the second-order watersheds of Iran

اختصاص بخش زیادی از مساحت کشور به اراضی مرتعی، به‌طور یقین، مدیریت این بخش می‌تواند نقش مؤثری در حفظ عناصر و صرفه‌جویی در هزینه‌های احیایی داشته باشد. در این راستا چرای بی‌رویه و کاهش پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر در تخریب مراتع بیان شده است (Li, 2024).

## بحث

ارزیابی هزینه‌های ناشی از فرسایش خاک بر اساس عنصر پتاسیم و فسفر حاکی از آن است که اراضی مرتعی و بایر، اراضی زراعی و اراضی جنگلی به‌ترتیب بیش‌ترین میزان هزینه جایگزین را دارند. باتوجه به

جدول ۲- هزینه‌های پتاسیم و فسفر فرسایش یافته در کاربری‌های مختلف اصلی و آبخیزهای رده دوم کشور

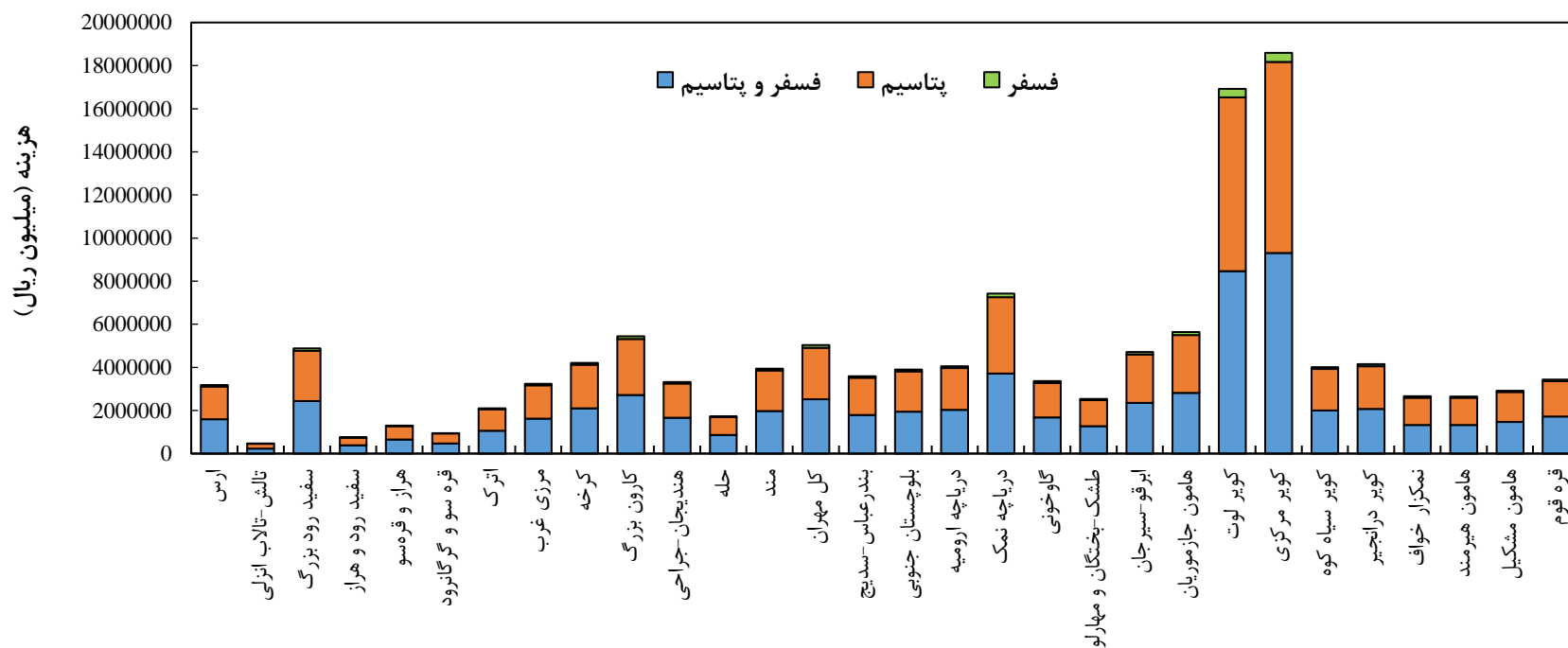
Table 2- Costs of eroded potassium and phosphorus in different main land-uses and second-order watersheds of Iran

کد	حوزه آبخیز/کاربری	مساحت-هکتار			هزینه هدررفت فسفر-میلیون ریال			هزینه هدررفت پتاسیم-میلیون ریال		
		جنگل	کشاورزی	اراضی بایر و مرتع	جنگل	کشاورزی	اراضی بایر و مرتع	جنگل	کشاورزی	اراضی بایر و مرتع
1	ارس	24436.16	691945.85	3246469.69	331.39	10168.82	60625.19	7420.37	246061.00	1268381.61
2	تالش- تالاب انزلی	288459.06	210833.14	157645.48	3911.97	3098.40	2943.90	87594.45	74973.80	61591.40
3	سفیدرود بزرگ	104195.62	622832.95	5321726.19	1413.06	9153.14	99378.92	31640.39	221483.95	2079175.30
4	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	479326.94	110922.09	454649.37	6500.44	1630.11	8490.21	145554.03	39444.70	177629.54
5	هراز و قره‌سو	536632.75	411324.35	797233.15	7277.60	6044.81	14887.68	162955.71	146269.94	311475.53
6	قره‌سو و گرگانرود	338499.55	468338.18	477478.51	4590.60	6882.69	8916.52	102789.91	166544.48	186548.78
7	اترک	4086.24	126892.62	2453956.28	55.42	1864.81	45825.64	1240.84	45123.94	958750.06
8	مرزی غرب	13638.92	478138.39	3513216.23	184.97	7026.71	65606.46	4141.64	170029.50	1372598.32
9	کرخه	0.00	1197662.34	4058260.06	0.00	17600.82	75784.71	0.00	425897.48	1585544.58
10	کارون بزرگ	4447.75	923054.24	5803993.73	60.32	13565.19	108384.87	1350.62	328244.83	2267595.14
11	هندیجان - جراحی	0.00	549764.76	3559569.77	0.00	8079.33	66472.08	0.00	195500.36	1390708.45
12	حله	0.00	140290.47	1984375.86	0.00	2061.71	37056.61	0.00	49888.32	775287.03
13	مند	0.00	162073.46	4663861.19	0.00	2381.83	87093.82	0.00	57634.51	1822150.31
14	کل مهران	0.00	87284.27	6062971.67	0.00	1282.73	113221.07	0.00	31038.92	2368776.69
15	بندرعباس - سدیج	0.00	42094.27	4350922.47	0.00	618.62	81249.94	0.00	14969.03	1699886.51
16	بلوچستان جنوبی	0.00	2795.27	4754786.26	0.00	41.08	88791.77	0.00	994.02	1857674.34
17	دریاچه ارومیه	0.00	1035860.00	4012350.20	0.00	15222.98	74927.38	0.00	368359.38	1567607.79
18	دریاچه نمک	0.00	1253379.58	7932682.61	0.00	18419.64	148136.41	0.00	445710.93	3099264.64
19	گاوخونی	0.00	186837.08	3934788.18	0.00	2745.75	73478.97	0.00	66440.63	1537304.65
20	طشک - بختگان و مهارلو	0.00	398788.16	2729621.05	0.00	5860.58	50973.46	0.00	141811.98	1066451.09
21	ابرکو - سیرجان	0.00	94512.48	5669119.89	0.00	1388.95	105866.21	0.00	33609.33	2214900.51
22	هامون - جازموریان	0.00	165090.08	6731942.74	0.00	2426.16	125713.56	0.00	58707.24	2630140.79
23	کویر لوت	0.00	79367.76	20593075.31	0.00	1166.39	384558.96	0.00	28223.76	8045625.07
24	کویر مرکزی	3215.70	650998.70	22126198.73	43.61	9567.06	413188.79	976.49	231499.89	8644609.73
25	کویر سیاه کوه	0.00	26659.01	4879135.68	0.00	391.78	91113.90	0.00	9480.14	1906257.11
26	کویر درانجیر	0.00	65011.32	5004319.80	0.00	955.41	93451.61	0.00	23118.50	1955166.01
27	نمکزار خواف	0.00	55289.08	3193662.86	0.00	812.53	59639.06	0.00	19661.20	1247750.21
28	هامون - هیرمند	0.00	45302.18	3198706.05	0.00	665.76	59733.24	0.00	16109.79	1249720.56

ادامه جدول ۲- هزینه‌های پتاسیم و فسفر فرسایش یافته در کاربری‌های مختلف اصلی و آبخیزهای رده دوم کشور

**Table 2 Continued- Costs of eroded potassium and phosphorus in different main land-uses and second-order watersheds of Iran**

کد	حوزه آبخیز/کاربری	مساحت-هکتار			هزینه هدررفت فسفر-میلیون ریال			هزینه هدررفت پتاسیم-میلیون ریال		
		جنگل	کشاورزی	اراضی بایر و مرتع	جنگل	کشاورزی	اراضی بایر و مرتع	جنگل	کشاورزی	اراضی بایر و مرتع
29	هامون - مشکیل	0.00	2982.37	3564914.27	0.00	43.83	66571.88	1060.55	1392796.52	
30	قره قوم	0.00	302532.5 2	3927072.95	0.00	4446.01	73334.90	107582.78	1534290.34	



شکل ۲- جمع کل هزینه‌های فسفر، پتاسیم و پتاسیم و فسفر (میلیون ریال)

**Figure 2- Total of phosphorus, potassium and potassium and phosphorus costs (million Rials)**

۰/۸ تا ۳/۶ درصد استفاده از کودهای شیمیایی افزایش خواهد یافت اما کاهش بازدهی شش تا ۱۳ درصد در تولیدات زراعی اتفاق خواهد افتاد. لذا کشاورزان ترجیح خواهند داد بجای استفاده از کود برای افزایش تولید، سطح زمین زیرکشت را گسترش دهند (Brunelle *et al.*, 2015) که تخریب خاک و فرسایش تشدید می‌شود. در این راستا (FAO, 1995) نیز نسبت به اهمیت هدررفت عناصر غذایی خاک هشدار داده است و اعلام کرده است به‌طور متوسط، سالانه ۳۶۰۰ دلار در اثر هدررفت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به هر کشاورز خسارت وارد می‌شود. از این رو آگاهی از وضعیت فرسایش در حوزه‌های آبخیز از ملزومات اتخاذ راهبردهای حفاظتی و مدیریتی برای مدیریت فرسایش است. در مناطق جنگلی نیز هدررفت عناصر و هزینه‌های ناشی از آن قابل توجه است. قرارگیری ایران در اقلیم مدیترانه‌ای نیز سبب شده است تا در بخش‌های مختلف ایران فرسایش با شدت‌های مختلف رخ دهد. علاوه بر تغییرات مختلف کاربری اراضی، افزایش شدت بارندگی در برخی مناطق از جمله جنگل‌ها احتمال فرسایش خاک را افزایش می‌دهد (Nikkami *et al.*, 2013; Arabkhedri, 2014). از طرفی دیگر جاده‌های جنگلی نیز تأثیر قابل توجهی بر رسوب‌دهی و فرآیندهای انتقال رسوب دارند که به‌طور جدی ایمنی و پایداری آبخیز را مختل می‌کند (Yu *et al.*, 2024a, b). وجود جمعیت پستانداران گیاه‌خوار نامتعارف در جنگل‌ها و چرای بی‌رویه نیز سبب تشدید میزان فرسایش در مناطق جنگلی شده است (Abe *et al.*, 2024). لذا مدیریت نامناسب زمین سبب تخریب و کاهش کیفیت زمین شده است (Islami *et al.*, 2024). مدیریت جنگل‌ها به روش‌های مختلف از جمله احیا جنگل‌های از بین رفته و یا تجویز آتش‌سوزی کنترل شده با هدف تأمین موارد غذایی می‌تواند از بروز مشکلات تشدید هدررفت مواد غذایی ناشی از فرسایش جلوگیری کند. با این وجود، آتش‌سوزی تجویزی ممکن است در برخی موارد منجر

مطالعات Ammour و همکاران (۲۰۰۰) در زمینه حفظ حاصلخیزی خاک توسط بوم‌سازگان‌های مرتعی و تأثیر پوشش گیاهی بر کنترل فرسایش خاک بر این موضوع تأکید دارد. پژوهش Zhao و همکاران (۲۰۰۷) نیز حاکی از آن بوده است که با افزایش پوشش گیاهی می‌توان از فرسایش جلوگیری کرد و از دست رفتن مواد مغذی را تا حد زیادی کاهش داد. همچنین فرسایش خاک در مزارع زراعی با کاهش عناصر غذایی، افزایش رواناب و کاهش دسترسی به آب برای گیاهان بهره‌وری پایدار کشاورزی است. بر این اساس در صورت عدم کنترل فرسایش تأثیر نامناسبی بر تولیدات کشاورزی خواهد گذاشت (Nasir Ahmad *et al.*, 2024). به عبارتی تولید محصول می‌تواند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار گیرد و در برخی موارد با ریزش کامل محصول مواجه شود (Quinton & Fiener, 2024). علاوه بر این، انتظار می‌رود افزایش درآمد جهانی و رشد جمعیت تا سال ۲۰۵۰ باعث افزایش تقاضا برای غذا شود در نتیجه، پیشگیری و کاهش فرسایش خاک به‌عنوان عوامل حیاتی در تضمین امنیت غذایی آینده شناسایی شده است (Xiong & Leng, 2024). از طرفی بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 2015)، پیش‌بینی می‌شود که نیاز به خوراک، فیبر و غذا در نتیجه روندهای جمعیتی فعلی و رشد جمعیت پیش‌بینی شده جهان تا ۶۰ درصد افزایش یابد (Nasir Ahmad *et al.*, 2024). بر این اساس کاهش تولیدات زراعی و بهره‌وری آن سبب شده است تا همزمان با افزایش جمعیت، استفاده از کودهای شیمیایی در راستای افزایش تولید و جایگزینی مواد غذایی از دست رفته خاک رونق بگیرد (Sinha *et al.*, 2022). همچنین افزایش هر ساله قیمت کود سبب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود که این امر در درازمدت کاهش بازدهی اراضی زراعی به دلیل عدم صرفه اقتصادی را در پی دارد به‌طوری‌که تا سال ۲۰۵۰ حدود

زراعت و جنگل بر کشور تحمیل می‌کند که جبران آن در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نخواهد بود. اگرچه استفاده از نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده برای غذا در جهان اجتناب‌ناپذیر است. لذا پرداخت یارانه‌های کشاورزی منجر به تغییر ایده کشاورزان در استفاده از کودهای شیمیایی خواهد شد و استفاده از آن را کاهش داده و آموزش فن‌های زراعی را بهبود می‌بخشد. شایان ذکر است در برآورد ارزش نگهداری خاک با رویکرد هزینه جایگزین باید هزینه نیروی کار برای کودپاشی و هزینه بازسازی و نوسازی خسارت‌های ناشی از فرسایش خاک نیز در محاسبات منظور شود. بدیهی است با احتساب چنین مؤلفه‌هایی رقم‌های یادشده افزایش چشمگیری می‌یابند و ارزش منابع از لحاظ حفظ حاصلخیزی خاک را بیش از پیش محرز می‌نماید. براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان استفاده از افزودنی‌های آلی حاصل از بقایای موجودات گیاهی و جانوری شامل کاه و کلس و بقایای پوشش گیاهی، کمپوست، کود حیوانی، کود سبز، لجن فاضلاب، فاضلاب کارخانه کاغذ، زغال‌زیستی، زغال‌سنگ نارس و خاکستر (Sadeghi *et al.*, 2016a,b) به سبب سازگاری با محیط‌زیست، صرفه اقتصادی، حفظ توان تولید در درازمدت و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و ایجاد شرایط پایدار در بوم‌سازگان، استفاده از کشاورزی سبز با توجه به تقاضای فزاینده برای غذای سالم و ایمن و پایداری طولانی‌مدت، کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی با هدف بهبود رشد گیاه و درنهایت حصول بیش‌ترین عملکرد گیاه، اجرای خاک‌ورزی حفاظتی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک با هدف بهبود جذب عناصر پرمصرف و افزایش بهره‌وری این عناصر و نهایتاً آموزش و توجیه کشاورزان در ارتباط با اثرات سوء مصرف زیاد کودهای شیمیایی پرمصرف و آموزش عملیات کشت محصول سالم توصیه می‌شود. همچنین با توجه به مشکلات موجود و منتج از فرسایش خاک، استفاده بهینه از منابع زیستی و

به افزایش رواناب سطحی و فرسایش خاک شود که نیاز به دقت و پایش بیش‌تر دارد (Zema *et al.*, 2024; Elliot, 2024)؛ بنابراین، فعالیت‌های احیای جنگل پتانسیل زیادی برای به حداقل رساندن فرسایش خاک و کمک به پشتیبانی از عملکرد و ارائه خدمات بوم‌سازگان دارد (Eshetu *et al.*, 2024). شایان ذکر است در این پژوهش از مقادیر متوسط پتاسیم و فسفر و میزان فرسایش در حوزه‌های آبخیز مختلف ایران استفاده شده است که تفاوت موجود میان رقم‌های برآورد شده در هر پژوهش ممکن است از یک‌سو ناشی از تفاوت در روش‌ها و زمان انجام محاسبات و از سوی دیگر مربوط به ماهیت بوم‌سازگان‌ها باشد. همچنین در برخی منابع، میانگین فرسایش آبی در کشور بسیار بیش‌تر ارائه شده است که دلیل آن به مبنای آماری استفاده‌شده در مطالعات موردی برمی‌گردد که در برخی موارد در حوزه‌های آبخیز با مساحت کم‌تر از ۵۰ هزار هکتار انجام شده است. حوزه‌های آبخیز با مساحت کم، بیش‌تر کوهستانی هستند و توپوگرافی شدیدتری دارند و در نتیجه میانگین فرسایش آبی در آن‌ها بیش‌تر است. با توجه به موارد ذکر شده ضرورت مطالعات جامع‌تر در رابطه با کمی‌سازی خسارت فرسایش خاک در ایران وجود دارد.

### نتیجه‌گیری

فرسایش خاک از جمله دغدغه‌های بشر در طول سالیان متمادی بوده است که در طی زمان بر اهمیت آن افزوده شده است. لذا در این پژوهش سعی شده است هزینه‌های جایگزین ناشی از هدررفت خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس پس از جمع‌آوری مقادیر فرسایش، فسفر و پتاسیم در آبخیزهای مختلف کشور در کاربرهای مختلف، با روش هزینه-جایگزین اقدام به برآورد خسارت‌های اقتصادی ناشی از فرسایش شده است. ارزیابی کمی اجمالی و برآورد هزینه جایگزین مواد غذایی ازدست‌رفته خاک در ایران بیان‌گر آن است میزان فسفر و پتاسیم مورد ارزیابی در این پژوهش خسارت‌های هنگفتی را در کاربری‌های مختلف مرتع،

## سیاسگزاری

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از جهادکشاورزی آراین‌شهر خراسان جنوبی به سبب همکاری در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی کنند.

غیرزیستی آبخیز برای حرکت به سوی امنیت غذایی پایدار تأکید می‌شود.

## References

- Abe, H., Kume, T., Hyodo, F., Oyamada, M., & Katayama, A. (2024). Soil erosion under forest hampers beech growth: Impacts of understory vegetation degradation by sika deer. *Catena*, 234, 107559. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107559>
- Alizadehgan, F., Gholami, M. A., & Shiukhy Soqanloo, S. (2022). Evaluation of Wastewater Effects on Soil Chemical Characteristics, Microelements Concentration, Heavy Metals Accumulation and Mize Yield (Single Cross 704). *Water and Soil*, 36(4), 511-524. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.77424.1178> (In Persian)
- Ammour, T., Windevoxhel, N., & Sencion, G. (2000). Economic valuation of mangrove ecosystems and subtropical forests in Central America. In: M. Dore and R. Guevara (Eds), Sustainable forest management and global climate change. *Cheltenham, Edward Elgar*, 166- 197. <https://doi.org/10.4337/9781781952740>
- Anonymous. (2020). State of Fertilizer Consumption in Iran. *Final Report*. (In Persian)
- Arabkhedri, M. A. (2014). Review on Major Water Erosion Factors in Iran. *Land Management*, 2(1), 17-26. (In Persian)
- Arab-Niasar, L., Mirzakhani, M., & Nozad Namin, K. (2023). Effect of Organic and Biological Fertilizers on Nitrogen Use Efficiency, Phosphorus Content and Protein Yield of White Bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Field Crop Science*, 54(4), 165-175. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2023.357590.654997> (In Persian)
- Arslan, A., Belotti, F., & Lipper, L. (2017). Smallholder productivity and weather shocks: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania. *Food Policy*, 69, 68-81. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.005>
- Atlasroody, A., Kazemeini, S. A., Bahrani, M. J., & Sepehri, M. (2024). Interaction effect of chemical and bio-fertilizers and deficit irrigation on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. Var *saccharata*) and some soil biological activity indices. *Interaction*, 15(4), 723-738. <https://doi.org/10.22067/agry.2022.73850.1082>
- Bagheri, F., Baharlouei, J., Chavoshi, E., & Khalili, B. (2023). Investigation of azolla compost, azolla biochar and rice husk biochar, on the improvement of some soil chemical properties. *Soil Management and Sustainable Production*, 13(4), 29-52. <https://doi.org/10.22069/EJSMS.2024.20276.2064> (In Persian)
- Bahrani, A., Yavari, A., & Raheb, A. (2023). Variation in physico-chemical properties of soil in different natural habitats of rangeland medicinal species: *Salvia macrosiphon* boiss. *Environmental Erosion Research*, 13(4), 130-152. <https://doi.org/10.61186/jeer.13.4.130> (In Persian)
- Bakhtiari, F., Panahi, P., Karami, M., Ghodduzi, J., Mashayekhi, Z., & Pourzadi, M. (2009). Economic valuation of soil nutrients retention function of Sabzkouh forests. *Forest*, 1(1), 69-81. (In Persian)
- Baraniyan Kabir, A., Mousavi, S. A., Bashari, H., Mesdaghi, M. R., & Basiri, M. (2016). Economic consequences of rangeland-use change to dryland from water and soil conservation functions. *Applied Ecology*, 6(2), 27-40. (In Persian)
- Behjou, F. K., Hashemian, A., Panahi, M., & Hassanzadeh, E. (2016). Economic valuation of soil nutrients in shimbars forest protected area using replacement cost. *Environmental Sciences*, 14(1), 137-146. (In Persian)
- Behrouzi, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi,

- M. J., & Shirkhani, A. (2022). Effect of deficit irrigation, fertilizers and vermicompost on forage maize (*Zea mays* L). *Crops Improvement*, 24 (4), 1069-1084.  
<http://doi.org/10.22059/jci.2021.328509.2594> (In Persian)
- Brunelle, T., Dumas, P., Souty, F., Dorin, B., & Nadaud, F. (2015). Evaluating the impact of rising fertilizer prices on crop yields. *Agricultural Economics*, 46(5), 653-666.  
<https://doi.org/10.1111/agec.12161>
- Chamani, R., Mostafaei Younjali, S., & Sadeghi, S. H. (2023). Role of biological measures in soil erosion processes using invest model in the Sharghong Watershed, South Khorasan, Iran. *Water and Soil Resources Conservation*, 13(2), 95-108.  
<https://doi.org/10.30495/WSRCJ.2023.73563.11380> (In Persian)
- Cociu, A. I., & Alionte, E. (2017). Effect of different tillage systems on grain yield and its quality of winter wheat, maize and soybean under different weather conditions. *Romanian Agricultural Research*, 34, 59-67.
- Cui, X., Guo, L., Li, C., Liu, M., Wu, G., & Jiang, G. (2021). The total biomass nitrogen reservoir and its potential of replacing chemical fertilizers in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110215>
- Davoudi Moghaddam, D., Sadeghi, S. H. R., & Azamy Rad, M. (2016). Comparison of surface runoff generation, and soil and nutrient loss in Kakhk treated and representative watersheds, Khorasan Razavi Province. *Water and Soil*, 30(3), 920-929. (In Persian)
- Demir, S., & Dursun, İ. (2024). Assessment of pre-and post-fire erosion using the RUSLE equation in a watershed affected by the forest fire on Google Earth Engine: the study of Manavgat River Basin. *Natural Hazards*, 120(3), 2499-2527.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-02306291-5>
- Elliot, W. J. (2024). Runoff and erosion following a prescribed fire on a sagebrush-steppe rangeland in Idaho, USA. *ASABE*.  
<https://doi.org/10.13031/ja.15738>
- Eshetu, S. B., Kipkulei, H. K., Koepke, J., Kächele, H., Sieber, S., & Löhr, K. (2024). Impact of forest landscape restoration in combating soil erosion in the Lake Abaya catchment, Southern Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 228.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-02412378-8>
- FAO. (1995). Agricultural investment to promote improved capture and use of rainfall in dry land farming. *FAO Investment Center Technical paper*, No.10, Rome.
- FAO., IFAD., UNICEF., WFP., & WHO. (2018). The state of food security and nutrition in the world 2018. Building resilience for peace and food security. *Rome*, FAO.
- Farsi, R., Yeganeh, H., Hosseinalizadeh, M., & Azimi, M. (2021). Estimating the economic value of the role of vegetation in controlling soil erosion (Case Study: Kechik Watershed). *Water and Soil Conservation*, 27(6), 137-152.  
<https://doi.org/10.22069/JWSC.2020.17633331> (In Persian)
- Garshasbi, P. Rajab Nejad, S., & Khani, Sh. (2012). Investigating the role of opportunity value of land in revitalizing watersheds. *Abkhizdari*, 1(1), 19-26. (In Persian)
- Ghorbani, M., & Hosseini, S. S. (2005). Poverty of soil nutrition: An economic views on erosion in Iran. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12(1), 147-157.
- Gobin, A., Jones, R., Kirkby, M., & Kosmas, C. (2003). Assessment and reporting on soil erosion, background and workshop report. *European Environmental Agency, Printed in Denmark*, 100 pp.
- Heidari, S., Sarhadi, J., & Sharif, M. (2022). Effects of integrated NPK and manure fertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of henna (*Lawsonia inermis* L) in Southern Kerman province. *Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(4), 532-544.  
<https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.358968.3182> (In Persian)
- Heydarnejad, S., Ranjbar Fordoei, A., Mousavi, S. H., & Mirzaei, R. (2020). Estimation of soil erosion using SLEMSA model and OWA approach in Lorestan Province (Iran). *Environmental Resources Research*, 8(1), 11-24.  
<https://doi.org/10.22069/ijerr.2020.5089>

- (In Persian)
- Huzenko, M., & Kononenko, S. (2024). Sustainable agriculture: impact on public health and sustainable development. *Health Economics and Management Review*, 5(2), 125-150. <https://doi.org/10.61093/hem.2024.2-08>
- Islami, J. D., Pulungan, N. A. H. J., & Sartohadi, J. (2024). Arrangement of agricultural reservoir along rill erosion: case study in the sumbing volcanic landscape, Java, Indonesia. *Air, Soil and Water Research*, 17, 11786221241261158. <https://doi.org/10.1177/11786221241261158>
- Kakeh, J., Gorji, M., & Alimohammadi, A. (2016). Quantitative soil quality assessment in different land-uses at some Parts of south eastern of Qazvin. *Soil and Water Research*, 47(4), 775-784. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2016.59984> (In Persian)
- Karami, F., Karamshahi, A., Modaberi, A., Mahdavi, A., & Hanareh Khalyani, J. (2023). Estimating the economic value of the preservation and maintenance functions of soil nutrients in Zagros forest ecosystem (case study: Dalab Ilam region). *Renewable Natural Resources Research*, 14(1), 141-150. (In Persian)
- Karimian, N. (2012). Fertilizer research in Iran: A glance at the past, a guide for the future. *Soil Research*, 25(4), 265-278. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2012.126491> (In Persian)
- Kasraian, A., & Fazli, N. (2023). Evaluation of extract percentage and vegetative growth of marigold (*Calendula officinalis*) in nitrogen, phosphorus and potassium treatments. *Soil Management and Sustainable Production*, 13(2), 115-129. <https://doi.org/10.22069/EJSMS.2023.20388.2068> (In Persian)
- Keivan Behjou, F., Hashemian, A., Panahi, M., & Hassanzadeh, E. (2016). Economic valuation of soil nutrients in shimbars forest protected area using replacement cost. *Environmental Sciences*, 14(1), 137-146. (In Persian)
- Keyvan Behjou, F., & Firouzi Asl, M. (2018). Economic evaluation of rangeland ecosystems for preserving important soil nutrients in Moghan rangelands. *Jurnal of Rangeland*, 11(4), 499-510. (In Persian)
- Langbein, W.B., & Schumm, S.A. (1958). Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions, American Geophysical Union*, 39: 1076-1084. <https://doi.org/10.1029/TR039i006p01076>
- Li, L. (2024). Semi-automated detection of rangeland runoff and erosion control berms using high-resolution topography data. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(1), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.05.004>
- Miran, N., Rasouli-Sadaghiani, M., Feiziasl, V., Sepehr, E., Rahmati, M., & Mirzaei, S. (2020). The performance of nutrient index value (NIV) in evaluation of dryland fertility. *Applied Soil Research*, 9(1), 57-71. (In Persian)
- Mobarghaei, N. (2011). Estimating the value of conservation function of soil nutrient in forest ecosystems. *Environmental Researches*, 1(2), 3-12. (In Persian)
- Mohammadi, M., Pirdashti, H., Tahmasebi-Sarvestani, Z., & Zand, B. (2020). Effect of different irrigation regime, chemical, and biological fertilizers, on fatty acids content and oil yield of evening primrose (*Oenothera Biennis* L.). *Field Crop Science*, 50(4), 155-173. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.257318.654520> (In Persian)
- Mojadadi, H., Moradmand, J. A., Smailpour, S., & Bahmanyar, M. A. (2013). The effects of land-use change of forests on chemical properties of soil. 1-6.
- Mousavi, S. R., Sarmadian, F., Omid, M., & Bogaert, P. (2022). Application of Machine Learning Models in Spatial Estimation of Soil Phosphorus and Potassium in Some Parts of Abyek Plain. *Soil Research*, 35(4), 397-411. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2022.355198.618> (In Persian)
- Naseri, R., Baray, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2020). Accumulation of nutrient elements on root, straw and soil in dryland wheat as affected by phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi. *Applied Soil Research*, 7(4), 179-195. (In Persian)
- Nasir Ahmad, N. S. B., Mustafa, F. B., & Muhammad Yusoff, S. Y. (2024). Spatial prediction of soil erosion risk using knowledge-driven method in Malaysia's

- Steepland Agriculture Forested Valley. *Environment. Development and Sustainability*, 26(6), 15333-15359. <https://doi.org/10.1007/s10668-023032518>
- Nasiri Dehsorkhi, A., Ghanbari, A., & Asgharipour, M. R. (2024). Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch) using geostatistical method. *Crop Sciences*, 25(3), 233-257. (In Persian)
- Nikkami, D. M., Arabkhedri, A., Sarreshtedari, L., & Dadmarz, L. (2013). Investigation and determination of the most appropriate erosivity index in different regions of Iran. Final report of the research project. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 120. (In Persian)
- Niknahad Gharmakher, H., & Maramaei, M. (2011). Effects of land-use changes on soil properties (Case Study: the Kechik catchment). *Soil Manage*, 1(2), 81-96. (In Persian)
- Nosrati, K., & Jalali, S. (2016). Investigating the amount of suspended sediment production in the Ziyarat watershed of Gorgan in different seasons using the technique of sediment origin. *Ecohydrology*, 4(3), 887-895. (In Persian)
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3(3), 443-463. <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>
- Piri Moghadam, L., & Vaezi, A. (2020). Nitrogen and phosphorous loss as affected by plough direction in rainfed wheat land of a semi-arid region. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 23(4), 69-82. (In Persian)
- Quinton, J. N., & Fiener, P. (2024). Soil erosion on arable land: An unresolved global environmental threat. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 48(1), 136-161. <https://doi.org/10.1177/0309133323121>
- Rahimizadeh, M. (2020). The assessment of weed competition effect on growth and yield of cotton with use chemical and biological fertilizers. *Crops Improvement*, 22(2), 245-255. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.284772>
- 2238 (In Persian)
- Ranjbar, M., Sadegh-Zadeh, F., Emadi, M., Sepanlou, M. G., & Dashliboroun, A. A. (2022). The effects of biochar types application on the concentration of silicon and some essential nutrients in the soil with silty clay loam texture. *Soil Management and Sustainable Production*, 12(2), 87-105. <https://doi.org/10.22069/EJSMS.2022.19279.2028>
- Sadeghi, S. H. R., & Najafi, S. (2014). Source ascription for fluvial sediment in watersheds (concepts, methods and technologies). *Jihad Daneshgahi*, P. 256. (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Kiani Harchegani, M. (2016a). Controllability of Runoff and Soil Loss from Small Plots Treated by Biochar Produced from Vinasse. *Science of the Total Environment*, 541, 483-490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.068>
- Sadeghi, S. H. R., Hazbavi, Z., Younesi, H. A., & Bahramifar, N., (2016b). Trade-off between runoff and sediments from treated erosion plots and polyacrylamide and acrylamide residues, *Catena*, 142, 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.013>
- Sadeghi, S. H., Hasanpour, F., Payfeshoordeh, A., Tavakoli, F., Esmail Zadeh, F., Abdulbaghi, F., Rashidi, N., Mousavian, S., Beigi, H., Bahlekeh, M., & Chamani, R. (2024). Position of the Fakhran Watershed in Iran's South Khorasan Province in the Watershed Management Ladder. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 1-19. <https://doi.org/10.22034/iwm.2024.2019702.1122> (In Persian)
- Sadeghi, S. H., Jafarpour, A., Farajolahi, M., Khatibi Roodbarsara, D., Moradi Sefidcheghayi, M., Zabihi Silabi, M., Khosravi, M., Kolani, E., Mohammadi, B., Adibi, M.J., & Azarniya, H. (2021). Biological Management of Soil Erosion (Case Study: Gavoshan Watershed, Kermanshah Province, Iran). *Water and Soil*, 35(4), 551-566. <https://doi.org/10.22067/jsw.2021.70989.1060> (In Persian)

- Sadeghi, S. H., Tavoosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., Akbari Emamzadeh, F., Bahlekeh, M., Khorshid Sokhangoy, F., & Chamani, R. (2022). Evaluation and variability of flood-oriented health of Shiraz Darwazeh Quran watershed from watershed management structures. *Water and Soil*, 36(5), 561-577. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78150.1190> (In Persian)
- Safari, A., Fatemi, A., Saiedi, M., & Kolahchi, Z. (2022). Effect of drought stress on water use efficiency of grapevines (*Vitis vinifera* L.) cultivar 'Bidaneh Ghermrz' under different fertilizer treatments. *Plant Research (Biology)*, 35(4), 836-847. (In Persian)
- Samarinas, N., Tsakiridis, N. L., Kalopesa, E., & Zalidis, G. C. (2024). Soil loss estimation by water erosion in agricultural areas introducing artificial intelligence geospatial layers into the RUSLE model. *Land*, 13(2), 174. <https://doi.org/10.3390/land13020174>
- Samdaliri, H., Jourgholami, M., Salajegheh, A., Abdi, E., & Kooch, Y. (2021). The effect of forest fires on the dynamics of some soil physical, chemical and biological characteristics over time. *Forest*, 13(2), 129-140. <https://doi.org/10.22034/IJF.2021.136935> (In Persian)
- Savari, M., & Gharechae, H. (2020). Application of the extended theory of planned behavior to predict Iranian farmers' intention for safe use of chemical fertilizers. *Cleaner Production*, 263, 121512. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121512>
- Shirinfekr, A., Oustan, S., Najafi, N., & Reyhanitabar, A. (2023). Investigating the relationship between soil acidity and some quality characteristics of tea green leaves in tea plantations of Gilan province. *Soil Research*, 37(3), 259-276. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2023.36352.1.724> (In Persian)
- Sinha, E., Calvin, K. V., Kyle, P. G., Hejazi, M. I., Waldhoff, S. T., Huang, M., & Zhang, X. (2022). Implication of imposing fertilizer limitations on energy, agriculture, and land systems. *Environmental Management*, 305, 114391. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114391>
- Soltanian, B., Moghaddam, P. R., & Asili, J. (2021). The effect of water stress, chemical and organic fertilizers on biomass, seed yield and root phenolic compounds of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Horticultural Science*, 34(4), 593-603. (In Persian)
- SoltanZadeh, A., Ghanbari, A., & Seyedabadi, E. (2022). Effect of chemical fertilizers and vermicompost on the field soil properties and nutrient concentrations of quinoa seed (Red cultivar) in Sistan region. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 77-86. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.320562.1170> (In Persian)
- Taheri, M. A. R., Astaraei, A. R., & Emami, H. (2024). The effect of compost obtained from the contents of sheep rumen and humic acid on some physical, chemical, and biological properties of soil and yield of turnip plant (*Brassica rapa*). *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(3), 619-633. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.360317.1272> (In Persian)
- Tashakkori, F., Mohammadi Torkashvand, A., Ahmadi, A., & Esfandiari, M. (2021). Prediction of Saffron Yield based on Soil properties Using Regression and Artificial Neural Networks Models in the Vamenan Region of Golestan Province. *Saffron Agronomy and Technology*, 9(2), 159-175. <https://doi.org/10.22048/jsat.2020.240519.1404> (In Persian)
- Vasta, P., Zheng, H., & Ma, W. (2024). A sustainable approach to improving agrifood production: getting the balance right between organic soil amendments and chemical fertilizers. *China Agricultural Economic Review*. <https://doi.org/10.1108/CAER-08-2023-0208>
- Wang, L., Li, Y., Gan, Y., Zhao, L., Qin, W., & Ding, L. (2024). Rainfall erosivity index for monitoring global soil erosion. *Catena*, 234, 107593. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107593>
- Xiong, M., & Leng, G. (2024). Global soil water erosion responses to climate and land-use changes. *Catena*, 241, 108043. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108043>

- 043  
Yaghmaeian Mahabadi, N., Khosroabadi, M., & Asadi, H. (2017). Effect of forest clearing and topography on some soil physicochemical properties effective on soil quality in Saravan region, Guilan. *Soil Research*, 31(2), 277-290. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2017.113112> (In Persian)
- Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., Abdullahi, M., & Haruna, A. (2023). Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: a review. *Pedosphere*, 33(3), 385-406. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>
- Yahyaabadi, M., Hamidian, A. H., & Ashrafi, S. (2021). Adsorption of elements in earthworms affected by chemical fertilizers in orchard Soil. *Animal Environment*, 13(1), 439-448. (In Persian)
- Yeganeh, H., Azarnivand, H., Saleh, A., Arzani, H., & Amirnejad, H. (2016). Estimating the economic value of soil conservation function (Case Study: Tham Zanjan). *Range and Desert Research*, 23 (1), 161-176. (In Persian)
- Yu, J., Zhao, Q., Yu, Z., Liu, Y., & Ding, S. (2024b). A Review of the Sediment Production and Transport Processes of Forest Road Erosion. *Forests*, 15(3), 454. <https://doi.org/10.3390/f15030454>
- Yu, Z., Zhao, Q., Liu, Y., Yu, J., Wang, A., & Ding, S. (2024a). Soil erosion associated with roads—A global review and statistical analysis. *Land Degradation & Development*, 35(11), 3509-3522. <https://doi.org/10.1002/ldr.5159>
- Zema, D. A., Parhizkar, M., Plaza-Alvarez, P. A., Xu, X., & Lucas-Borja, M. E. (2024). Using random forest and multiple-regression models to predict changes in surface runoff and soil erosion after prescribed fire. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(1), 1215-1228. <https://doi.org/10.1007/s40808-02301838-8>
- Zhao, Y., Peth, S., Krummelbein, J., Horn, R., Wang, Z., Steffens, M., Hoffmann, C., & Peng, X. (2007). Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological Modeling*, 205, 241-254. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.02.019>
- Ziaei Jazzi, D., & Zare Bidaki, R. (2019). Determination of economic loss of soil erosion in different land-uses (Case study: Beheshtakad watershed basin in Chaharmahal and Bakhtiari province). *Range and Watershed Managment*, 72(1): 151-165. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.263499.1288> (In Persian)
- Zulfiqar, F., & Thapa, G. B. (2017). Agricultural sustainability assessment at provincial level in Pakistan. *Land-use Policy*, 68 (1), 492-50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.016>