



Effect of Land Use Change Scenarios on Soil Erosion in Gharesoo Watershed

Document Type
Research Paper

Hamidreza Kamyab^{1*}, Sajjad Karabalasaleh²

Received
2022/12/25

1. Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. MSc graduated, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Accepted
2023/06/12

DOI: 10.22034/eiap.2023.179864

Abstract

Soil erosion is a result of the interaction between nature and human activities. Soil erosion is one of the major problems that threatens sustainability of natural resources. The assessment of soil erosion using empirical-based models has long been an active research topic. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is possibly the most widely applied and accepted empirical erosion model worldwide. The RUSLE model has been extensively applied for estimating erosion rates based on five parameters (rainfall, soil, topography and slope, land cover, and support practice). The C-factor (land cover) represents the characteristics of soil management and cover in RUSLE and is highly correlated to the land use/land cover practice. We analyzed changes in land cover to estimate a future scenario for 2047 using an artificial neural network. The C-factor values were assigned based on historical land use maps. Soil erosion variations in the years 1984, 2008, 2017 and 2047 were estimated using the RUSLE model based on the land use scenarios. The mean soil erosion rates based on the land use scenarios were 21 t/km²/y (1984), 23.9 t/km²/y (2008), 24.6 t/km²/y (2017), and 27.3 t/km²/y (2047). The results showed that the sub-basins 5, 8 and 11 were the third top areas contributing to the increased erosion rate in all years.

Keywords: Land use change, Soil erosion, RUSLE

*Corresponding author:

Email: hrcamyab@gau.ac.ir

Introduction

Land use corresponds to the socio-economic description (functional dimension) of areas. Land use change is a process by which human activities transform the natural landscape, referring to how land has been used, usually emphasizing the functional role of land for economic activities (Paul and Rashid, 2017). Land change models (LCMs) describe, project, and explain changes in and the dynamics of land use and land-cover. LCMs are a means of understanding ways that humans change the Earth's surface in the past, present, and future. Soil erosion is a natural process that causes the level of soil loss by various environmental factors such as climate, soil, topography, and vegetation. However, human intervention can accelerate this process through land-use change and agricultural and construction activities. Therefore, today, soil erosion due to land-use change has become the most important issue of land degradation around the world, which results in landform change and disruption of the main functions of the ecosystem (Abiyat et al., 2021). There are different methods for soil erosion modeling. The revised universal soil loss equation (RUSLE) model is one of these models. Our objectives for the present study are:

1. The obtaining of C-factor through land cover.
2. The prediction of soil erosion from future land use.
3. Consider the soil erosion variations in 1984, 2008, 2017 and 2047 by using the RUSLE model under the effects of the future land use.

Methodology

The revised universal soil loss equation (RUSLE) model was used to quantify soil loss. In addition, the response of soil erosion to LULCC was evaluated. The model considers six main factors controlling soil erosion: rainfall erosivity represented by R , soil erodibility represented by K , topography represented by LS , and land use and management represented by C and P . RUSLE quantify soil loss using equation (1):

$$A=R*K*LS*P*C \quad \text{equation (1)}$$

where A denotes the Soil Loss ($t.ha^{-1}.yr^{-1}$), R refers to the Rainfall Erosivity ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.Yr^{-1}$), K represents the Soil Erodibility ($ton.ha.MJ^{-1}.mm^{-1}$), LS denotes the Topographic factor, C refers to the Cover Management, and P denotes the Support Practice.

The C-factor is used to reflect the effect of cropping and management practices on erosion. To determine the C-factor by remote sensing, have been often used Land use/Land cover. C Factor is highly correlated to the land use/land cover practice, because of its dependence on crop rotation, agricultural practice, vegetation canopy, surface roughness, and sub-surface biomass (Mohammad et al., 2020). We projected soil erosion for the years 1984, 2008, 2017 and 2047 in Gharesoo Watershed under the effects of the land use scenarios to study and simulate the conversion of land use by using artificial neural network to determine the cover management factor (C). In this study, C-Factor was generated from satellite images. Three historical land use (1984, 2008, 2017) using maximum likelihood classification method and a predicted land use (2047) using MLP were generated (Kamyab and Alipour, 2020), then it was multiplied by the values proposed by Yeng et al., 2003; Teng et al., 2016; Mohammed et al., 2020 to calculate C factor (Table 1 and Figure 1).

Table 1. Land use/land cover classes and respective C-factor value.

Land Use	C Factor
Built Up	0.1
Forest	0.02
Rangeland	0.08
Agricultural	0.09
Water Body	0.03
Bare	0.01

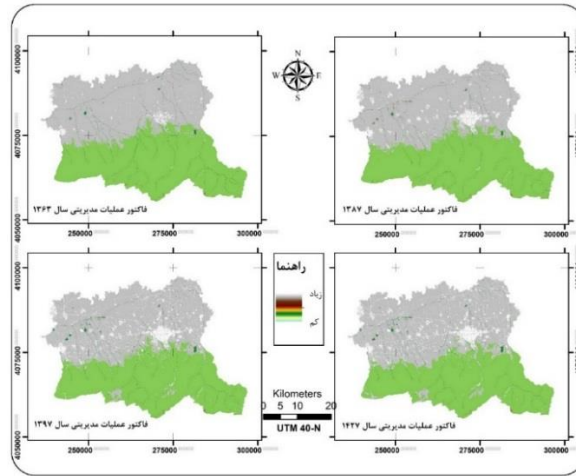


Figure 1. Cover management factor (C)

Results and Discussion

The mean soil erosion rates based on the land use scenarios (Figure 2) were 21 t/km²/y (1984), 23.9 t/km²/y (2008), 24.6 t/km²/y (2017), and 27.3 t/km²/y (2047).

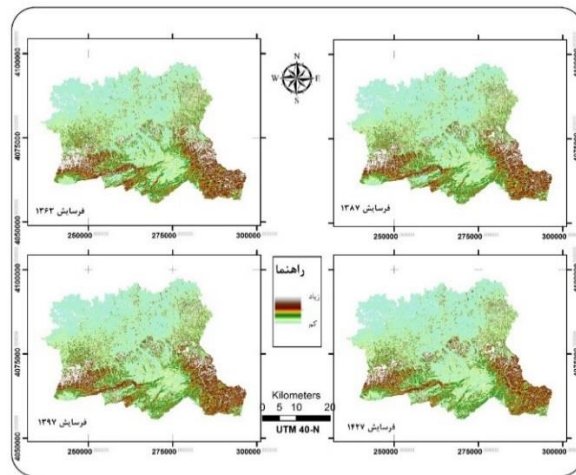


Figure 2. Spatial distribution of soil erosion

The results showed that the sub-basins 5, 8 and 11 were the third top areas contributing to the increased erosion rate in all years (Table 2).

Table 2. Soil erosion for the sub-basins

Sub basin	Area (Ha)	Erosion			
		1984	2008	2017	2047
1	5634.2	27.2	29.2	29.4	35
2	4781.6	14	15.4	15.6	18.4
3	6295.4	8.2	8.4	9	9.4
4	80068.1	12.6	13.4	13.6	14.4
5	1106.4	47	76.8	78	89.8
6	5224.8	30.4	30.4	31.4	32.8
7	9489.3	17	17	18.8	19
8	2352.2	32.4	33	34.2	38
9	4559.5	9.2	9.2	9.8	10.2
10	5037.2	16.6	16.8	17.4	17.8
11	19221.4	33.8	33.8	34.2	34.2
12	3914.3	26.4	29.6	30	36.6
13	5540.3	15.2	17.2	17.6	21.2
14	8089.2	5	5.6	5.6	6

Conclusion

This Study shows that the southern part of the study area is subjected to erosion. In the present study, multi-temporal data were integrated to generate the potential soil erosion map. Result revealed that the majority of the study experienced erosion rate of 21–27 t ha⁻¹.y⁻¹.

References

- Abiyat, M., Abiyat, M. & Abiyat, M. (2021). Investigation of Land-Use Changes and their Impacts on Soil Erosion in Baghmalek Basin using Artificial Neural Network and RUSLE Model. *Journal of Environmental Studies*, 47(1), 89-110.
- Kamyab, H. R., & Alipour Varaki, S. (2020). Application of Artificial Neural Network in Landscape Change Process in Gharesou Watershed, Golestan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9(2), 73-87. (In Persian).
- Mohammed, S., Alsafadi, K., Talukdar, S., Kiwan, S., Hennawi, S., Alshihabi, O. & Harsanyie, E. (2020). Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100375. (In Persian).
- Paul, B. K. & Rashid, H. (2017). Land use change and coastal management. *Climatic hazards in coastal Bangladesh*, 183-207.
- Teng, H., Rossel, R. A. V., Shi, Z., Behrens, T., Chappell, A. & Bui, E. (2016). Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*, 77, 156-167.
- Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T. & Musiak, K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological processes*, 17(14), 2913-2928.

تأثیر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز قره سو، استان گلستان

حمیدرضا کامیاب^{۱*}، سجاد کربلای‌صالح^۲

۱. استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

چکیده

فرسایش خاک نتیجه هم‌کنشی بین طبیعت و فعالیت‌های انسانی و یکی از مشکلات تهدیدکننده پایداری منابع طبیعی است. ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های تجربی یک موضوع همیشگی تحقیقاتی است. مدل جهانی اصلاح شده خاک (RUSLE) احتمالاً پرستفاده‌ترین نوع مدل‌های تجربی فرسایش خاک است. این مدل بر اساس پنج فاکتور (بارش، خاک، توپوگرافی و شیب، پوشش زمین و فعالیت‌های مدیریتی) به طور گسترده برای برآورد فرسایش خاک استفاده شده است. اثرات سناریوهای تغییر کاربری زمین بر فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور C (پوشش زمین) نشان‌دهنده ویژگی‌های پوشش و مدیریت خاک در مدل RUSLE است. این فاکتور به شدت با نوع پوشش و کاربری زمین مرتبط است. تغییرات کاربری زمین برای برآورد سناریوی آینده برای سال ۱۴۲۷ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. مقادیر فاکتور C بر اساس داده‌های چندزمانه استخراج شد. تغییرات فرسایش خاک نیز برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷، ۱۳۹۷ و ۱۴۲۷ با استفاده از سناریوهای مختلف کاربری اراضی و با به‌کارگیری مدل RUSLE بررسی شد. نتایج نشان داد که میانگین فرسایش خاک در سناریوهای مختلف کاربری زمین به میزان ۲۱ (سال ۱۳۶۳)، ۲۳/۹ (سال ۱۳۸۷)، ۲۴/۶ (سال ۱۳۹۷) تن در هکتار در سال بوده و برای سال ۱۴۲۷، ۲۷/۳ تن در هکتار در سال خواهد بود. زیرحوزه‌های ۵، ۸ و ۱۱ سه زیرحوزه با بالاترین مقدار فرسایش در تمام سال‌ها بوده‌اند.

کلیدی واژه‌ها: تغییر کاربری زمین، فرسایش خاک، مدل RUSLE

سرآغاز

کاربری اراضی به معنای به‌کارگیری و مدیریت پوشش اراضی جهت اهداف انسانی است. کاربری اراضی، به مفهوم وارد کردن انسان در استفاده از نوع خاصی از پوشش اراضی با هدف تولید، تغییر و یا حفاظت از آن تعریف می‌شود. پوشش سطح زمین دائماً توسط فعالیت‌های انسانی در حال تغییر است. این تغییرات روی اجزای محیط‌زیست مانند خاک، آب و اتمسفر تاثیر مستقیم می‌گذارد و بنابراین به طور مستقیم با بسیاری از مسایل محیط‌زیستی که اهمیت جهانی دارند در ارتباط است (Erdogan et al., 2011). این تغییرات اغلب غیرخطی هستند و ممکن است محرک سیستم‌های پس‌خور باشند که شرایط زندگی انسان را به خطر انداخته و آسیب‌پذیری انسان را تهدید می‌کنند (Judex et al., 2006).

تغییر کاربری یقیناً مهم‌ترین عاملی است که حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Gomes et al., 2021) و نتیجه تبدیل اراضی طبیعی از جمله جنگل و مرتع به کاربری‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و بالعکس است (Yousefi et al., 2011).

مدل‌های تغییر کاربری اراضی متعددی به منظور دست‌یابی به نیازهای متنوع مرتبط با مدیریت زمین توسعه یافته‌اند (Veldkamp & Lambin, 2001). مدل‌های تغییر کاربری اراضی، کمیت و مکان تغییر کاربری در آینده را در منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی می‌کند (Prato, 2005) و ابزاری را برای مطالعه رفتار و کنترل تغییرات کاربری و روند آن در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد (Kamyab & SalmanMahiny, 2013).

مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی در مطالعات متعدد مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه‌ای از این مدل‌ها که بسیار نیز در مدل‌سازی تغییر کاربری زمین استفاده شده است مدل شبکه عصبی مصنوعی است. به عنوان نمونه، (Kafy et al., 2021) برای بررسی ارتباط تغییر کاربری با دمای سطح زمین در طی دهه‌های گذشته، (Rafaai et al., 2020) برای بررسی اثرات تغییر کاربری در طرح‌ریزی حفاظتی در مالزی، (Chuenchum et al., 2020) برای بررسی اثرات تغییر کاربری بر فرسایش با استفاده از مدل RUSLE، (Romano et al., 2018) جهت بررسی تاثیر تغییر کاربری بر انتقال رسوب، (Kamyab & Alipour, 2020) برای بررسی اثر تغییر کاربری در مقیاس سیمای سرزمین، (Moradi

(2020) برای بیان اثرات تغییر کاربری بر تولید رواناب، Kamyab et al., (2011) برای مدل‌سازی تغییر کاربری زمین از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. با توجه به اشتراک بخش مدل‌سازی تغییر کاربری زمین در این مطالعه و مطالعه Kamyab (2020) & Alipour از داده‌های آن مطالعه برای بررسی اثر تغییر کاربری بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز قره‌سو استفاده شده است.

ارتباط بین تغییر کاربری زمین و فرسایش خاک

خاک در نتیجه تاثیر متقابل اقلیم، موجودات زنده، مواد مادری و پستی و بلندی طی زمان تشکیل شده و بخش بالایی آن از افق‌هایی تشکیل شده است که با مواد سنگی زیرین تفاوت دارند. فرسایش به تخریب و جابه‌جا شدن خاک در اثر فرآیندهای طبیعی و یا دخالت‌های انسانی اطلاق می‌شود. فرسایش خاک برجسته‌ترین شکل تخریب زمین است که ناشی از هم‌افزایی طبیعت و فعالیت‌های انسانی است (Kebede et al., 2021; Bhattacharya et al., 2020).

جهت پیش‌بینی و ارزیابی فرسایش خاک چندین مدل طراحی شده است. احتمالاً، رایج‌ترین مدل‌های تجربی مدل معادله جهانی تلفات خاک^(۱) (USLE) و اصلاح شده آن تحت عنوان معادله جهانی^(۲) RUSLE است.

معادله جهانی تلفات خاک، برای پیش‌بینی متوسط سالیانه تلفات خاک حاصل از فرسایش ورقه‌ای و شیاری در یک قطعه زمین یا دامنه طراحی شد. این مدل توسط (Smith & Wischmeier, 1975)، با جمع‌آوری اطلاعات فرسایش خاک از ۴۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت آمریکا به دست آمد. در طی ۴۰ سال اخیر، مدل جهانی تلفات خاک به سبب داشتن محاسبات ساده، پر کاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تاثیرات عملیات‌های مدیریتی مختلف بر آن بوده است. تحقیقات و مطالعات انجام شده در سال‌های بعد منجر به توسعه معادله جهانی اصلاح شده فرسایش خاک شد. این مدل، مانند مدل جهانی تلفات خاک، دارای شش فاکتور است که البته، اصلاحات مختلفی در تعیین فاکتورهای آن صورت گرفته است و جهت پیش‌بینی تلفات خاک در مناطق گسترده‌تر و در شرایط مختلف توسعه یافته است. مزیت مهم مدل جهانی اصلاح شده تلفات خاک، قابلیت انعطاف آن است که مدل‌سازی در سامانه‌های مختلف را مقدور می‌سازد (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020).

استفاده از مدل RUSLE برای برآورد میزان فرسایش در مناطق

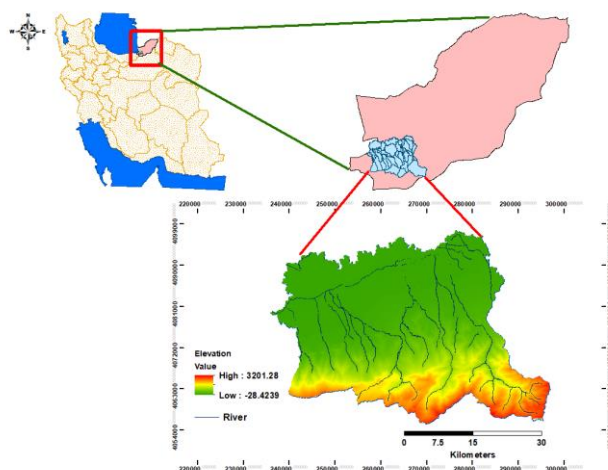
مدل برای مطالعه و برآورد فرسایش خاک استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

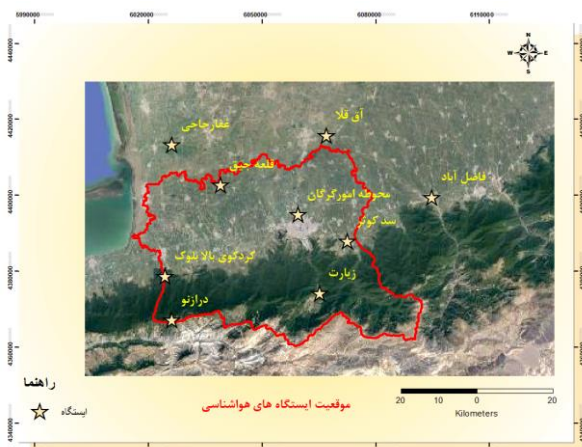
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوزه آبخیز قره‌سو با وسعت تقریباً ۱۶۱۰ کیلومترمربع واقع در استان گلستان است که توسط کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه شده است (شکل ۱). این منطقه، هشت درصد مساحت استان گلستان را تشکیل داده و از شمال و شرق به حوزه آبریز گرگان رود، از جنوب به حوزه آبریز نکارود و از غرب به حوزه خلیج گرگان و همچنین دریاچه خزر محدود می‌شود.

مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه، (Bamutaze et al., 2020) برای اوگاندا، (Saketa Kebede et al., 2020) برای اتیوپی، (Macedo et al., 2020) برای برزیل، (Mohammed et al., 2020) در سوریه و (Yan et al., 2020) در چین، (Saffari et al., 2018) در حوزه گرگانرود، (Mahammadi et al., 2018) برای برآورد فرسایش خاک کشور، (Bazrafshan & Teimouri, 2018) برای حوزه جاسک، (Khaleghpanah et al., 2018) برای حوزه خامسان کردستان، (Habashi et al., 2018) برای دشت کوهپایه-سگری نمونه‌ای از مطالعات انجام شده با استفاده از این مدل است. مرور منابع فوق نشان می‌دهد با وجود سادگی، همچنان از این



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل (۲): موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

زمین بر اساس مطالعه (Kamyab & Alipour, 2020) استخراج می‌شود. در این رویکرد با استفاده از داده‌های سنجش از دور و

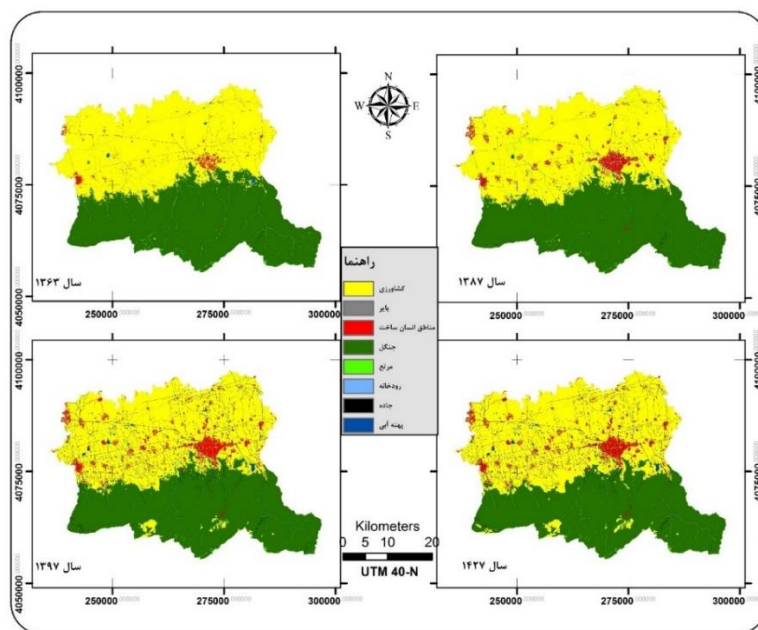
اطلاعات اولیه

آمار و اطلاعات بارندگی دوره‌های موردنظر، با مراجعه به ادارات متولی از جمله اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای گلستان به‌دست آمده است. در این دستگاه‌ها، اطلاعات به ازای هر ایستگاه و با کد مشخص، دسته‌بندی شده‌اند. ضمن بهره‌گیری از این اطلاعات، از گزارش‌های هواشناسی ایستگاه‌های قلعه جیق، آق قلا، درازنو، زیارت، سد کوثر، غفارحاجی، فاضل آباد، کردکوی بالا بلوک و محوطه امور گرگان که توسط شرکت آب منطقه‌ای تهیه شده، نیز استفاده شده است (شکل ۲). داده‌های ارتفاع و شیب منطقه نیز از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و اطلاعات خاک هم از نقشه‌های موجود در منطقه استفاده شد.

با توجه به هدف مطالعه حاضر که بررسی تأثیر سناریوهای تغییر کاربری زمین بر فرسایش خاک است، داده‌های مربوط به کاربری

تحلیل داده‌های سنجش از دور و لایه کاربری زمین ۱۴۲۷ بر اساس رویکرد مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی بدست آمد (شکل ۳).

مدل‌سازی تغییر کاربری زمین با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، اطلاعات کاربری زمین برای چهار دوره زمانی استخراج شد. لایه کاربری زمین برای سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ بر اساس



شکل (۳): لایه‌های کاربری زمین چندزمانه منطقه (منبع: Kamyab and Alipour, 2020)

روش کار

برای محاسبه فرسایش، از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح‌شده (RUSLE) استفاده شد. مدل RUSLE، یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش فاکتور فرسایشی رابطه دارد (رابطه ۱).

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (۱)$$

در این رابطه، A: میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R: فاکتور فرسایشی باران $h - MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ ، K: فاکتور فرسایش‌پذیری خاک $1 y^{-1} Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1}$ ، L: فاکتور طول شیب، S: فاکتور درجه شیب، C: فاکتور عملیات مدیریتی و پوشش و درنهایت P: فاکتور عملیات حفاظتی است. مقادیر L، S، C و P بدون واحد است.

فاکتور فرسایشی باران (R)

فرسایشی باران به عنوان ظرفیت درونی باران برای ایجاد فرسایش خاک تعریف می‌شود. میزان، شدت، سرعت نهایی، اندازه قطره و توزیع اندازه قطره باران متغیرهایی هستند که بر کل فرسایش باران تأثیر می‌گذارد (Blanco-Canqui & Lal, 2005).

(2008). فاکتور R برای دوره‌های مختلف، از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I30) به دست می‌آید (Renard et al., 2020; Mohammed et al., 1997). در نبود اطلاعات کافی، چندین مدل ساده برای ارزیابی فرسایش باران با استفاده از همبستگی بین فاکتور R و بارش ماهانه و سالانه پیشنهاد شده است (Renard & Freimund, 2011; Lee & Heo, 1994). از آنجا که داده‌های E و I30 برای منطقه مورد مطالعه در دسترس نیست، فاکتور R با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیر که توسط (Arnoldus, 1977) ساخته شده، محاسبه شده است، که به صورت رابطه (۲) است.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} p} \quad (۲)$$

در این رابطه، p_i : متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در این مطالعه، با استفاده از رابطه (۲)، شاخص فورنیر برای تمامی ایستگاه‌ها، محاسبه شد و سپس با جای گذاری شاخص فورنیر (رابطه‌های ۳ و ۴) که توسط Renard & Freimund (1994) برای مناطق فاقد داده‌های

تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد شد.

رابطه (۳) $R\text{-factor} = F < 55\text{mm}$ اگر $(0.07397 * F^{1.847}) / 17.2$

رابطه (۴) $R\text{ factor} = F \geq 55\text{ mm}$ اگر $(95.77 - 6.081 * 0.477 * F^2) / 17.2$

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) فرسایش‌پذیری خاک، حساسیت ذاتی خاک به فرسایش به وسیله آب باران و رواناب است و تابع بافت، ساختار، محتوای مواد آلی، خواص هیدرولیکی و رطوبت خاک است (Blanco-Canqui & Lal, 2008). مقدار فاکتور K با استفاده از رایج‌ترین روش محاسبه می‌شود (رابطه ۵) (Wischmeier & Smith, 1978).

$$K = \frac{0.00021 * M^{1.14} * (12 - OM)}{100} + \frac{3.25 * (C_{SOILSTR} - 2) + 2.5 * (C_{PERM} - 3)}{100} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن K: فاکتور فرسایش‌پذیری خاک
 M – فاکتور بافتی: $M = (msilt + mvfs) * (100 - mc)$
 msilt – درصد ذره سیلت (0.002-0.05mm)
 mvfs – درصد ذره شن (0.05-0.1mm)
 mc – درصد ذره رس (0.05-0.1mm)
 Csoilstr – کد ساختار خاک مطابق USDA
 Cperm – مشخصات نفوذپذیری کلاس مطابق با USDA
 OM – درصد ماده آلی

جدول (۱): پارامترهای خاک برای برآورد حساسیت خاک به فرسایش

SOIL*	ویژگی‌های انواع خاک							Csoilstr	Cperm	M
	SOM %	orgC %	msilt %	ms %	mvfs %	mc %				
Pl	۰/۳۹	۰/۲۳	۰/۵	۹۸/۵	۱	۱	۱	۱	۱۴۸/۵	
Ps	۱/۴	۰/۸۱	۱۲	۸۴/۵	۱۴/۵	۳/۵	۲	۱	۲۵۵۷/۳	
Pgl	۱/۱۳	۰/۶۶	۲۰	۷۷	۱۲	۳	۲	۲	۳۱۰۴	
Pgm	۱/۸۹	۱/۱	۲۸	۶۸	۱۰	۴	۳	۲	۳۶۴۸	
Gl	۱/۵۵	۰/۹	۳۰/۵	۶۰	۱۱/۵	۹	۳	۲	۳۸۲۲	
Gs	۲/۲۹	۱/۳۳	۲۵/۵	۶۴	۳/۵	۱۰/۵	۳	۳	۲۵۹۵/۵	
Plz	۱/۷۲	۱	۵۲/۵	۴۴/۵	۱۲	۳	۳	۲	۶۲۵۶/۵	
Plg	۱/۳۳	۰/۷۷	۷۰/۵	۱۹/۵	۱۲	۱۰	۳	۲	۷۴۲۵	
Gc	۱/۷۸	۱/۰۳	۲۸/۵	۴۶	۳	۲۵/۵	۳	۳	۲۳۴۶/۸	
pgmp	۱/۳۹	۰/۸۱	۳۸/۵	۵۳	۱۶/۵	۸/۵	۳	۳	۵۰۳۲/۵	

*pl – loose sand; ps-weak loamy sand; pgl-light loamy sand; pgm-strong loamy sand; gl-light loam; gs-average loam; plz-ordinary silt; plg-loess; gc-heavy loam; pgmp-strong loamy silty sand.

رابطه (۶)

$$LS = (Flowaccumulation * \frac{Cellsize}{22.1})^{0.4} * (SinSlope * 0.896)^{1.3}$$

لایه انباشت جریان (Flowaccumulation) یک لایه رستری در قالب GIS است که نشان دهنده تعداد سلول‌هایی موجود در قست بالادست آن سلول است که جریانشان به آن سلول می‌رسد. این لایه با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شده است.

فاکتور طول شیب (L) و درجه شیب (S)

افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود (Haan et al., 1994). بر اساس مطالعات، فرسایش خالص خاک نسبت به تغییرات در درجه شیب در مقابل طول شیب حساس‌تر است (McCool et al., 1987). در این مطالعه، جهت محاسبه این دو فاکتور از معادله مربوط به Moore & Burch, (1986a); و Panagos et al., (2015) استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه استفاده شده است (رابطه ۶).

فاکتور عملیات حفاظتی (P)

(Mohammed et al., 2020) استفاده شده است (جدول ۳).

جدول (۳): مقدار فاکتور C (برگرفته از: Yeng et al., 2003; Teng et al., 2016; Mohammed et al., 2020)

طبقة کاربری	فاکتور C
مناطق انسان‌ساخت	۰/۱
جنگل	۰/۰۲
مرتع	۰/۰۸
کشاورزی	۰/۰۹
پهنه آبی	۰/۰۳
بایر	۰/۱

لازم به ذکر است که با توجه به هدف مطالعه حاضر که بررسی سناریوهای تغییر کاربری بر فرسایش منطقه است، فاکتور C بر اساس لایه کاربری زمین سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷، ۱۳۹۷ و ۱۴۲۷ به صورت مجزا تهیه و در مدل RUSLE جهت برآورد فرسایش قرار داده شده است.

نتایج و بحث

مدل RUSLE، یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش فاکتور فرسایشی رابطه دارد. نقشه ۵ فاکتور فرسایشی مورد استفاده در مدل RUSLE برای حوزه آبخیز قره‌سو، در شکل (۴) نشان داده شده است.

مقادیر فاکتورهای مدل RUSLE در منطقه نشان می‌دهد که مقدار فاکتور فرسایشی باران از ۳ تا ۹۸ ($\text{mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$) متغیر است. مقدار فرسایشی باران در بخش‌های شرقی و غربی منطقه بالاتر از سایر مناطق حوزه است. مقدار فاکتور فرسایش‌پذیری خاک نیز از ۰ تا ۰/۵۶ ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1}$) متغیر است. مقدار این متغیر در بخش‌های مرکزی و شمالی منطقه (با کاربری غالب کشاورزی) بالاتر است. بررسی مقادیر فاکتور پوشش نیز نشان می‌دهد که مقدار این متغیر در بخش‌های جنوبی منطقه (به دلیل برخورداری بودن از شیب بیشتر) بیشتر است. فاکتورهای طول شیب و جهت شیب نیز تقریباً از همین الگو تبعیت کرده و در بخش‌های جنوبی مقادیر بالاتری نسبت به بخش‌های شمالی دارند.

نقشه فاکتور C برای مدل RUSLE بر اساس جدول (۳) تهیه شد. با استفاده از داده‌های کاربری زمین مربوط به گذشته منطقه و همچنین اطلاعات مدل‌سازی تغییر کاربری زمین، فاکتور C برای ۴ دوره زمانی بر اساس لایه کاربری زمین تهیه شد (شکل ۵).

کشت و کار در اراضی شیب‌دار نیاز به عملیات حفاظتی جهت حفظ آب و خاک دارد. این عملیات سبب کاهش سرعت هرزآب تا زیر حد آستانه بروز فرسایش می‌شود و به این لحاظ از قدرت فرسایش‌دگی آب و ظرفیت حمل آن می‌کاهد. فاکتور P، نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب است (Renard et al., 1997). ارزش این عامل بستگی به شدت شیب در حوزه آبخیز دارد. برای به دست آوردن مقادیر عامل حفاظت خاک، از لایه شیب منطقه و بر اساس اطلاعات جدول (۲) استفاده شده است (Ganasri & Ramesh, 2016; Wischmeier & Smith, 1978; Teng et al., 2016).

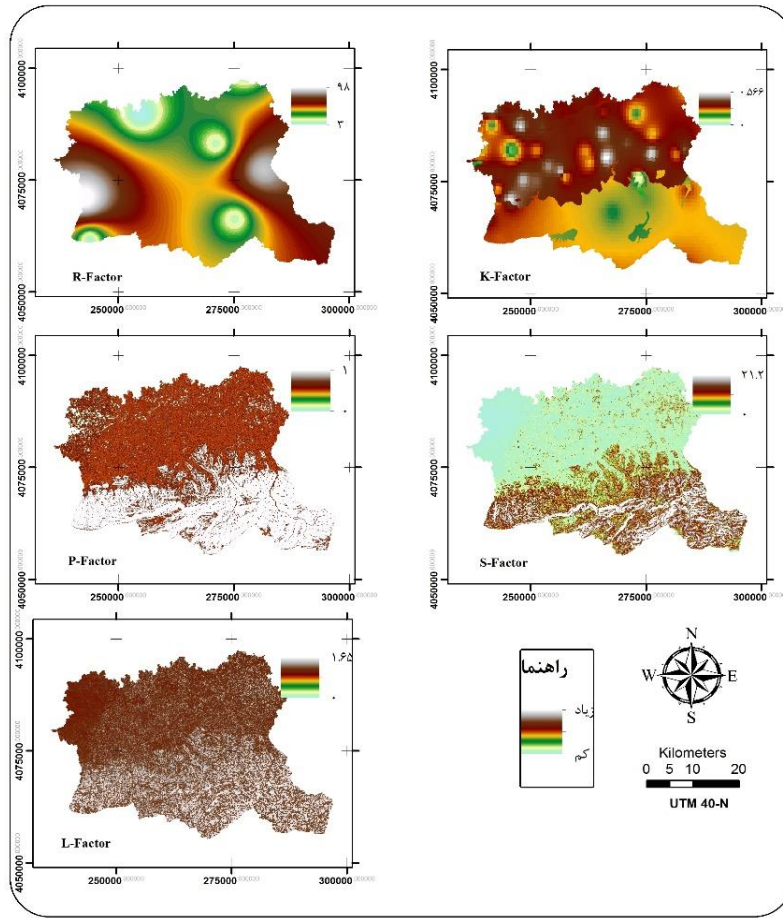
جدول (۲): عامل حفاظتی در شیب‌های مختلف (Wischmeier & Smith, 1978)

عامل p	شیب (درصد)
۰/۶	کمتر از ۳ درصد
۰/۵	۳-۶
۰/۵	۶-۹
۰/۶	۹-۱۲
۰/۷	۱۲-۱۵
۰/۸	۱۵-۲۰
۰/۹	۲۰-۲۵
۱	بیشتر از ۲۵

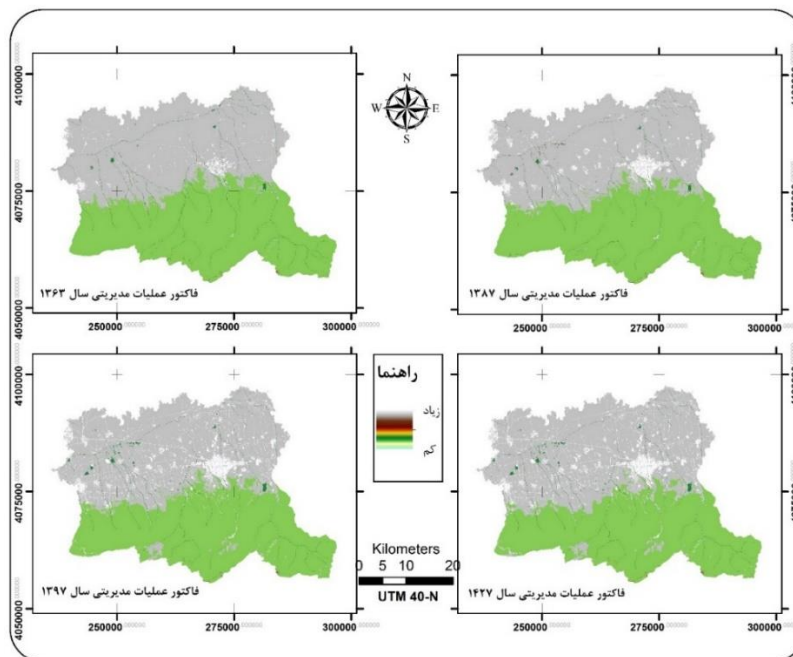
فاکتور مدیریت پوشش (C)

فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) نشان‌دهنده تاثیر کاشت در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش‌های درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی بر کاهش فرسایش خاک است. با افزایش پوشش گیاهی، فرسایش خاک کاهش می‌یابد. مدل RUSLE از مجموعه‌ای از پارامترها مانند تاثیر مدیریت گذشته منطقه، تاج پوشش، نوع پوشش و میزان زبری زمین برای برآورد این فاکتور استفاده می‌کند. این رویکردها نیاز به دامنه وسیعی از اطلاعات از منطقه مورد مطالعه دارد که پایش تمام این اطلاعات کاری بسیار دشوار است (Benavidez et al., 2018).

یک روش برآورد مناسب برای این فاکتور استفاده از داده‌های سنجش از دور در غالب لایه کاربری زمین است (Yang, 2014). برای مطابقت دادن طبقات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه و فاکتور C از مطالعه (Teng et al., 2016; Yeng et al., 2003)



شکل (۴): نقشه فاکتورهای مدل Rusle

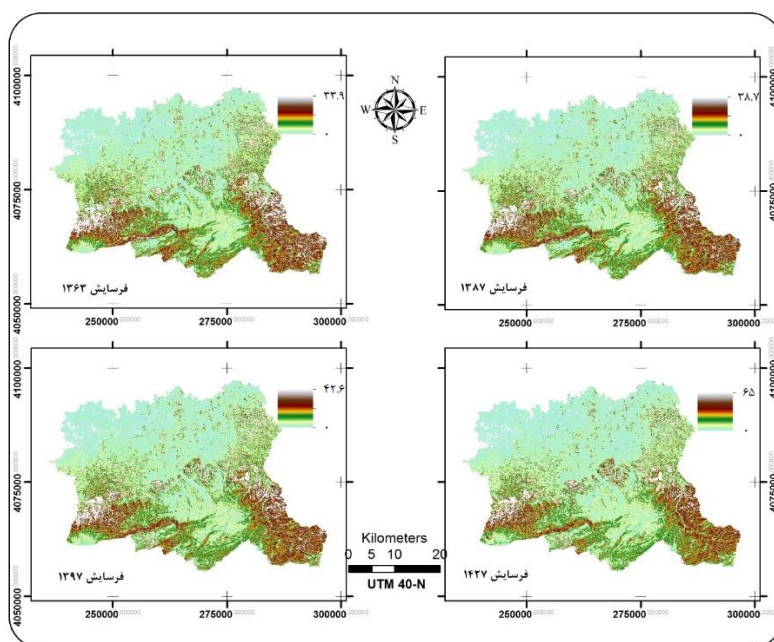


شکل (۵): نقشه‌های فاکتور C بر اساس لایه کاربری زمین

مناطق ایفا خواهد کرد.

فرسایش متوسط سالیانه خاک از طریق حاصل ضرب فاکتورهای فرسایش‌پذیری باران (R)، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، فاکتور توپوگرافی (LS)، فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C)، و فاکتور عملیات حفاظتی (P) در محیط نرم‌افزاری GIS محاسبه شد. با توجه به چندزمانه بودن اطلاعات فاکتور C، لایه فرسایش سالیانه خاک نیز بر اساس چهار دوره زمانی تهیه شد (شکل ۶).

با توجه به استخراج فاکتور C از لایه کاربری زمین، بیشترین تغییر در مقادیر این فاکتور از تغییر کاربری جنگل به کاربری مناطق انسان‌ساخت نشأت گرفته است. عمده این تغییرات در مناطق حاشیه‌ای شمالی پهنه‌های جنگلی که در مجاورت مناطق انسان‌ساخت (به خصوص شهر گرگان) قرار دارد، اتفاق افتاده است. در این مناطق، مقدار این متغیر، به میزان ۰/۰۷ (بدون واحد) تغییر داشته است که نقش مهمی در افزایش فرسایش خاک در این



شکل (۶): لایه‌های فرسایش خاک برای ۴ دوره زمانی (واحد: تن در هکتار در سال)

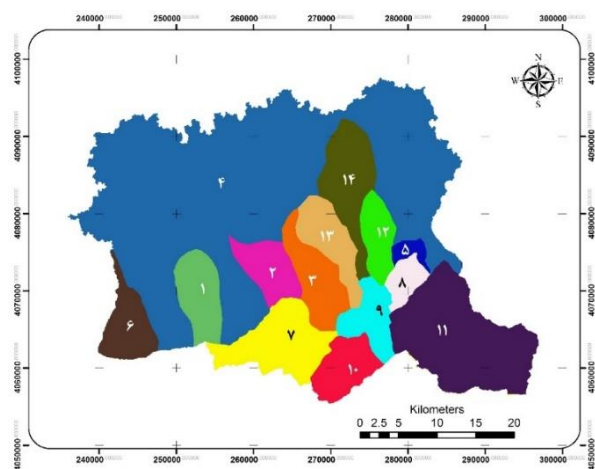
کاربری زمین در منطقه است. مقدار مشاهده‌ای فرسایش ایستگاه‌های موجود در حوزه قره‌سو بر اساس آمار بلندمدت رسوب سنجی، مطابق با جدول (۴) بوده است (Nikkami & Shadfar, 2021). از این مقادیر مشاهده‌ای جهت واسنجی نتایج مدل فرسایش استفاده شده است. مقدار متوسط فرسایش در حوزه ۱۸/۲۷ تن در هکتار در سال بوده است که با مقدار فرسایش ۲۴/۶ تن در هکتار در سال ۱۳۹۷ نزدیکی زیادی دارد.

مقدار فرسایش به تفکیک زیرحوزه‌ها

جهت برآورد و مقایسه میزان فرسایش در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز قره‌سو، از مرز زیرحوزه‌های این منطقه استفاده شد. اطلاعات مربوط به میانگین فرسایش در هر زیرحوزه آبخیز قره‌سو (شکل ۷) در جدول (۵) نشان داده شده است.

با توجه به اطلاعات مستخرج از لایه‌های فرسایش منطقه مشخص شد که میانگین فرسایش در حوزه آبخیز قره‌سو در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷، ۱۳۹۷ و ۱۴۲۷ به ترتیب ۲۱، ۲۳/۹، ۲۴/۶ و ۲۷/۳ تن در هکتار در سال است. مقدار فرسایش در این حوزه آبخیز در سال‌های متعدد نشان می‌دهد که تغییر کاربری زمین در حوزه آبخیز قره‌سو در فرسایش اثرگذار است. به‌گونه‌ای که مقدار فرسایش را از ۲۱ تن در هکتار در سال ۱۳۶۳ به بیش از ۲۷ تن در هکتار در سال ۱۴۲۷ افزایش خواهد داد. میزان کل فرسایش سالانه خاک در حوزه نیز برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷، ۱۳۹۷ و ۱۴۲۷ به ترتیب ۲/۷، ۲/۸، ۲/۹ و ۳/۱ میلیون تن بوده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان فرسایش در سطح حوزه روند افزایشی داشته است. با توجه به این‌که تنها پارامتر تغییر یافته در مدل فرسایش خاک، فاکتور پوشش زمین بوده است. بنابراین، این میزان تغییر (به طور متوسط ۰/۱ تن در هر دوره زمانی) مرتبط با تغییر

فرسایش شده است را باید در فاکتورهای دیگر مدل RUSLE جست‌وجو کرد. پایین بودن فاکتورهای شیب و فرساینده‌گی باران در منطقه تا حد زیادی توانسته است که بر نرخ تغییر کاربری در این زیرحوزه غلبه نماید و این زیرحوزه را به عنوان پایین‌ترین زیرحوزه از لحاظ فرسایش نشان دهد. از طرف دیگر، کمترین مقدار فرسایش در قره‌سو نیز مربوط به این زیرحوزه در سال ۱۳۶۳ بوده است.



شکل (۷): زیرحوزه‌های منطقه مورد مطالعه

جدول (۴): مقادیر فرسایش مشاهده‌ای

کد ایستگاه	فرسایش مشاهده‌ای (تن در هکتار در سال)
۱۲۰۴۳	۱۰/۵۶
۱۲۰۱۹	۲۹/۴۱
۱۲۰۸۵	۱۴/۸۶
میانگین	۱۸/۲۷

بر اساس اطلاعات جدول (۵) مشخص است که بیشترین مقادیر فرسایش مربوط به زیرحوزه شماره ۵ قره‌سو است. دلیل اصلی اختلاف فرسایش در این زیرحوزه با زیرحوزه‌های دیگر را می‌توان به مساحت کوچک این زیرحوزه نسبت داد (کوچک‌ترین زیرحوزه) که اثرات تغییر کاربری می‌تواند سبب افزایش آشکارتری در میزان فرسایش آن شود. از طرف دیگر، بالاترین مقدار فرسایش در قره‌سو نیز مربوط به این زیرحوزه در سال ۱۴۲۷ برآورد می‌شود. کمترین مقادیر فرسایش نیز متعلق به زیرحوزه ۱۴ قره‌سو است. با نگاهی به کاربری زمین در این زیرحوزه می‌توان به این نکته پی برد که اگرچه، کاربری‌های این منطقه دارای تغییرات بیشتری نسبت به برخی دیگر از زیرحوزه‌ها مانند زیرحوزه‌های ۵ و ۸ بوده است (جدول ۶)، اما آنچه باعث رتبه بهتر این زیرحوزه در مقدار

جدول (۵): میزان فرسایش به تفکیک هر زیرحوزه

زیرحوزه	مساحت	فرسایش ۱۳۶۳	فرسایش ۱۳۸۷	فرسایش ۱۳۹۷	فرسایش ۱۴۲۷
۱	۵۶۳۴/۲	۲۷/۲	۲۹/۲	۲۹/۴	۳۵
۲	۴۷۸۱/۶	۱۴	۱۵/۴	۱۵/۶	۱۸/۴
۳	۶۲۹۵/۴	۸/۲	۸/۴	۹	۹/۴
۴	۸۰۰۶۸/۱	۱۲/۶	۱۳/۴	۱۳/۶	۱۴/۴
۵	۱۱۰۶/۴	۴۷	۷۶/۸	۷۸	۸۹/۸
۶	۵۲۲۴/۸	۳۰/۴	۳۰/۴	۳۱/۴	۳۲/۸
۷	۹۴۸۹/۳	۱۷	۱۷	۱۸/۸	۱۹
۸	۲۳۵۲/۲	۳۲/۴	۳۳	۳۴/۲	۳۸
۹	۴۵۵۹/۵	۹/۲	۹/۲	۹/۸	۱۰/۲
۱۰	۵۰۳۷/۲	۱۶/۶	۱۶/۸	۱۷/۴	۱۷/۸
۱۱	۱۹۲۲۱/۴	۳۳/۸	۳۳/۸	۳۴/۲	۳۴/۲
۱۲	۳۹۱۴/۳	۲۶/۴	۲۹/۶	۳۰	۳۶/۶
۱۳	۵۵۴۰/۳	۱۵/۲	۱۷/۲	۱۷/۶	۲۱/۲
۱۴	۸۰۸۹/۲	۵	۵/۶	۵/۶	۶

قرار گرفته، کاملاً مشهود است. نتایج تحلیل تغییراتی کاربری

نقش فاکتور C در برآورد فرسایش که در این مطالعه به عنوان مبنا

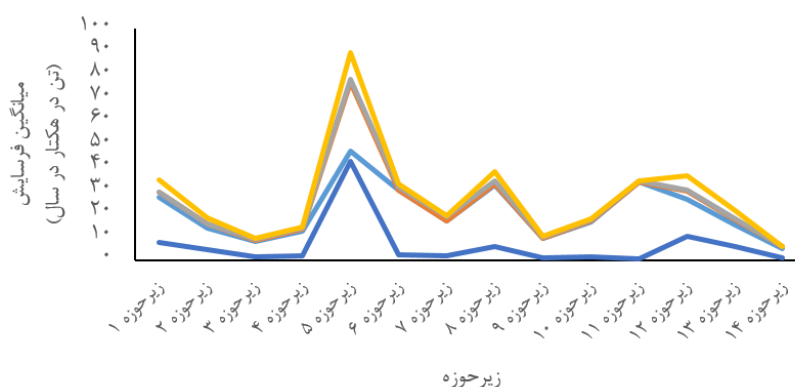
۱۱ (با تغییر فرسایش ۰/۴)، ۹ و ۱۴ (با تغییر فرسایش ۱) خواهد بود.

جدول (۶): درصد تغییر کاربری زمین در هر زیرحوزه

زیرحوزه	مساحت	درصد تغییر
۱	۵۶۳۴/۲	۱۱/۵
۲	۴۷۸۱/۶	۱۸/۲
۳	۶۲۹۵/۴	۸/۷
۴	۸۰۰۶۸/۱	۹/۸
۵	۱۱۰۶/۴	۴۸/۱
۶	۵۲۲۴/۸	۸/۷
۷	۹۴۸۹/۳	۷/۶
۸	۲۳۵۲/۲	۵/۶
۹	۴۵۵۹/۵	۶
۱۰	۵۰۳۷/۲	۵/۹
۱۱	۱۹۲۲۱/۴	۰/۸
۱۲	۳۹۱۴/۳	۲۲/۳
۱۳	۵۵۴۰/۳	۲۸/۲
۱۴	۸۰۸۹/۲	۲۰/۳

زمین بین سال اول (۱۳۶۳) و سال پیش‌بینی شده (۱۴۲۷) نشان می‌دهد که در زیرحوزه‌هایی که در منطقه دارای بالاترین نرخ فرسایش هستند، درصد تغییر طبقات کاربری به هم (فارغ از نوع تبدیل) نیز دارای بالاترین درصد است (جدول ۵). به عنوان مثال، زیرحوزه ۵ در طی این دوره زمانی احتمالاً دارای نرخ تغییر ۴۸ درصدی در منطقه خود خواهد بود که نتیجه این تغییر در افزایش بیش از ۴۲ تن فرسایش در هکتار در سال خود را نشان داده است. از طرف دیگر، میزان همبستگی صعودی بین فرسایش با فاکتور C در دوره‌های مختلف زمانی نشان دهنده بارزتر شدن نقش تغییر کاربری در میزان فرسایش منطقه است. نکته‌ای که لزوم مدیریت تغییرات کاربری زمین در منطقه را می‌طلبد.

مقایسه نرخ فرسایش بین دو سال ابتدایی (۱۳۶۳) و سال انتهایی (۱۴۲۷) در منطقه نیز نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرسایش به ترتیب در زیرحوزه‌های ۵ (با تغییر فرسایش ۴۲/۸)، ۱۲ (با تغییر فرسایش ۱۰/۲) و زیرحوزه ۱۳ (با تغییر فرسایش ۶) رخ خواهد داد (شکل ۸). کمترین میزان فرسایش نیز به ترتیب در زیرحوزه‌های



شکل (۸): نمودار تغییرات چهار دوره‌ای فرسایش به تفکیک هر زیرحوزه

همانگونه که نتایج همبستگی بین فرسایش و فاکتورهای مدل RUSLE نشان می‌دهد که میزان همبستگی تمام فاکتورها به استثنای فاکتور C، با گذر زمان کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، نقش فاکتور C در میزان فرسایش با مرور زمان بیشتر خواهد شد. دلیل اصلی در این تغییر مقدار همبستگی در تغییر کاربری منطقه و به خصوص توسعه و رشد شهری است که همزمان با افزایش مساحت این مناطق، میان فرسایش هم تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

همبستگی بین فرسایش و فاکتورها مدل

میزان فرسایش متاثر از فاکتورهای اثرگذار بر مدل RUSLE است. اما این ارتباط به معنای تاثیرپذیری یکسان از این پارامترها نیست. جهت بررسی میزان تاثیرگذاری فاکتورهای مدل RUSLE بر میزان فرسایش، میزان همبستگی بین پارامترها و میزان فرسایش مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۷) نتایج همبستگی بین این دو مولفه را نشان می‌دهد. با توجه به قابلیت مطالعه حاضر که بر مبنای بررسی تغییرات در دوره‌های زمانی گذشته تا آینده است، می‌توان این همبستگی را به صورت چندزمانه بررسی نمود.

جدول (۷): همبستگی بین فرسایش چند زمانه و فاکتورهای مدل RUSLE

فرسایش	R	K	L	S	P	C
سال ۱۳۶۳	۰/۵۲۷	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۱۴
سال ۱۳۸۷	۰/۵۲۶	۰/۳۶۵	۰/۴۴	۰/۵۸۲	۰/۵۳	۰/۱۶
سال ۱۳۹۷	۰/۵۲۳	۰/۳۶۳	۰/۴۴	۰/۵۸۰	۰/۵۳	۰/۱۷
سال ۱۴۲۷	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۱۸

نتیجه گیری

با توجه به تأثیرات انسانی در محیط زیست به خصوص تغییر کاربری زمین، فرسایش خاک یک مشکل جدی متاثر از این تغییرات خواهد بود. بنابراین، ارزیابی فرسایش خاک و توزیع مکانی آن در مقیاس حوزه آبخیز ضروری به نظر می رسد. مدل RUSLE یک مدل فرسایش خاک نسبتاً ساده برای ارزیابی فرسایش خاک است. با یکپارچه سازی RUSLE و GIS، تخریب واقعی و بالقوه خاک و توزیع مکانی آن می تواند مورد ارزیابی قرار گیرد و در پی آن می توان اثرات اقدامات حفاظت از خاک در انواع کاربری اراضی را ارایه نمود.

با توجه به وجود رویکردهای متفاوت برای برآورد پارامترهای این مدل، انتظار می رود که نتایج مدل در یک منطقه همیشه به صورت یکسان و مشابه نیست. نمونه این تعارض را می توان با مقایسه بخشی از مطالعه حاضر با نتایج استفاده از این مدل در حوزه آبخیز قره سو در مطالعه (Mirsenjeri & Mehri et al., 2018; Abedian, 2019) مشاهده نمود. به عنوان نمونه، میانگین فرسایش در حوزه آبخیز قره سو در این مطالعه مقدار ۲۴/۶ تن در هکتار در سال بر اساس لایه کاربری سال ۱۳۹۷ بدست آمد. در حالی که میانگین فرسایش در مطالعه (Mehri et al., 2018) معادل ۱۸/۶۵ تن در هکتار در سال و در مطالعه (Mirsenjeri & Abedian, 2019) نیز در بازه ۰ تا ۶۵۰ تن در هکتار بوده است که بیش از ۳۰ درصد منطقه دارای فرسایش زیر ۱۵ تن در هکتار در سال بوده است. یکی از دلایل این عدم قطعیت این است که پارامترهای مدل RUSLE بر اساس مطالعات مبتنی بر زمین های کشاورزی و در وسعت کوچک توسعه داده شده اند (Naipal et al., 2015). عدم قطعیت موجود در لایه های پایه و همچنین استفاده از رویکردهای متفاوت در استخراج پارامترهای مدل RUSLE از دلایل دیگر تفاوت در نتایج است.

یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار در برآورد فرسایش با استفاده از

مدل RUSLE، فاکتور C (مدیریت پوشش) است که روش های متعدد برای محاسبه آن ارایه شده است (استفاده از شاخص پوشش گیاهی (Macedo et al., 2021)، لایه کاربری زمین (Kebede et al., 2021)). رویکرد مورد استفاده در این مطالعه برگرفته از رویکرد مبتنی بر لایه پوشش زمین است. این رویکرد علاوه بر آن که با توجه به قابلیت های سنجش از دور امکان تهیه داده های چندزمانه را فراهم می سازد، همچنین می تواند با استفاده از رویکردهای مدل سازی تغییر کاربری زمین، نگاهی به آینده منطقه نیز داشته است. همچنان که در این مطالعه از تصاویر ۴ دوره زمانی برای این کار بهره گرفته شده است. نمونه این رویکرد در مطالعه (Saffari et al., 2018) نیز وجود دارد اما نقطه متمایز این مطالعه استفاده از نتایج مدل سازی تغییر کاربری انجام شده (Kamyab & Alipour, 2020)، و پیش بینی فرسایش برای آینده بر اساس لایه کاربری زمین سال ۱۴۲۷ است.

علی رغم وجود رویکردهای مختلف برای استخراج پارامترهای مدل RUSLE که نتایج متفاوتی را نیز در مطالعات مختلف در بر خواهد داشت، اما الگوی فرسایش در تمام مطالعات تا حد زیادی با هم توافق دارد. همچنان که مقایسه بخشی از نتایج این مطالعه با سایر مطالعات نشان از توافق کلی نتایج دارد. این نکته در مطالعه (Borrelli et al., 2017) که مدل در سطح جهانی اجرا و با نتایج محلی و منطقه ای مقایسه شد نیز تایید شده است. با این حال امکان واسنجی نتایج مدل با داده های مشاهده ای فراهم است. همچنان که در این مطالعه میزان فرسایش برآورد شده در سال ۱۳۹۷ (۲۴/۶ تن در هکتار) با داده های مشاهده ای (۱۸/۲۷ تن در هکتار) نشان دهنده انطباق ۷۵ درصدی است.

یادداشت ها

1. Universal Soil Loss Equation: USLE
2. Revised Universal Soil Loss Equation: RUSLE

فهرست منابع

- Arnoldus, H.M.J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. In: *Assessing Soil Degradation*. FAO Soils Bulletin 34, Rome.
- Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation to the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: De Boodt, Gabriels -Eds.). *Assessment of Erosion*. Wiley, New York.
- Bamutaze, Y., Mukwaya, P., Oyama, S., Nadhomi, D. & Nsemire, P. (2021). Intersecting RUSLE modelled and farmers perceived soil erosion risk in the conservation domain on mountain Elgon in Uganda. *Applied Geography*, 126, 102366.
- Bazrafshan, O. & Teimouri, F. (2018). Comparison of the efficiency the RUSLE and EPM models in estimating soil erosion and sediment yield according to the sediment rating curve (case study: Jask-Gabrik watershed). *New Findings in Applied Geology*, 12(23), 50-62. (In Persian).
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D. & Norton, K. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6086.
- Bhattacharya, R. K., Chatterjee, N. D., Acharya, P. & Das, K. (2021). Morphometric analysis to characterize the soil erosion susceptibility in the western part of lower Gangetic River basin, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 1-22.
- Blanco-Canqui, H. & Lal, R. (2008). *Principles of soil conservation and management*. Springer Science & Business Media.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C. & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8(1), 1-13.
- Chuenchum, P., Xu, M. & Tang, W. (2020). Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3), 213-227.
- e Silva, L. P., Xavier, A. P. C., da Silva, R. M. & Santos, C. A. G. (2020). Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00811.
- Erdogan, N. Nurlu, E. & Erdem, U. 2011. Modelling land use changes in Karaburun by using CLUE-S. *ITU AZ*, vol. 8, no. 2, pp. 91-102.
- Ganasri, B. P. & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961.
- Gomes, E., Inácio, M., Bogdzevič, K., Kalinauskas, M., Karnauskaitė, D. & Pereira, P. (2021). Future land use changes and its impacts on terrestrial Ecosystem services: a review. *Science of the Total Environment*, 146716.
- Ghosal, K., Das Bhattacharya, S. A Review of RUSLE Model. *J Indian Soc Remote Sens* 48, 689–707 (2020).
- Haan, C. T., Barfield, B. J. & Hayes, J. C. (1994). *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Elsevier.
- Habashi, K., Mohammadi, S., Karimzadeh, H. R. & Poormanafi, S. (2018). Assessment soil erosion risk in Kohpayeh-segzi plain using Revised Universal Soil Loss Equation (RSLE). (In Persian).
- Judex, M. Thamm, H.P. & Menz, G. (2006). Modelling of land- use changes in awest African catchment.
- Kafy, A. A., Rahman, M. S., Hasan, M. M. & Islam, M. (2020). Modelling future land use land cover changes and their impacts on land surface temperatures in Rajshahi, Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100314.

- Kamyab, H. R. & Alipour Varaki, S. (2020). Application of Artificial Neural Network in Landscape Change Process in Gharesou Watershed, Golestan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9(2), 73-87. (In Persian).
- Kamyab, H. R. & Salman Mahiny, A. (2013). Modeling urban growth effects on landscape structure in Gorgan city area. *Ecopersia*, 1(2), 99-112. (In Persian).
- Kamyab, H., Salman Mahiny, A., Hoseini, S. M. & Gholamalifard, M. (2011). Using neural network for urban growth modeling (Case study: Gorgan City). *Human Geography Research*, 43(2), 99-114. (In Persian).
- Kebede, Y. S., Endalamaw, N. T., Sinshaw, B. G. & Atinkut, H. B. (2021). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 2, 100009.
- Khaleghpanah, N., Shorafa, M., Asadi, H., Gorji, M. & Davari, M. (2018). Comparison and evaluation of RUSLE and RUSLE2 models in soil loss estimation at rangeland hillslopes of Khamesan Watershed, Kurdistan. *Iranian Journal of Soil Research*, 32(2), 203-219. (In Persian).
- Lee, J. H. & Heo, J. H. (2011). Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 30-48.
- Macedo, P. S. M., Oliveira, P. T. S., Antunes, M. A. H., Durigon, V. L., Fidalgo, E. C. C. & de Carvalho, D. F. (2020). New approach for obtaining the C-factor of RUSLE considering the seasonal effect of rainfalls on vegetation cover. *International Soil and Water Conservation Research*.
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K. & Meyer, L. D. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30(5), 1387-1396.
- Mehri, A., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A., Mirkarimi, S. H. & Sadoddin, A. (2018). Prioritization of Land Patches for Rehabilitation of Potential Water Soil Erosion Effects (Case Study: Gharesoo Watershed). *Geographic Space*, 18(61), 105-123. (In Persian).
- Mirsenjeri, M. M., Abedian Mohammadi, S., Karimzadeh, H., & Alizadeh, M. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2), 551-569. (In Persian).
- Mohammed, S., Alsafadi, K., Talukdar, S., Kiwan, S., Hennawi, S., Alshihabi, O. & Harsanyie, E. (2020). Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100375. (In Persian).
- Moore, I.D., & Burch, G.J. (1986a). Modelling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29, 1624-1630
- Moradi, Z. (2020). Relationship between Land Use Change and Water Yield in Gorgan-rod Watershed. *Journal of Watershed Management Research*, 11(21), 269-280. (In Persian).
- Naipal, V., Reick, C., Pongratz, J. & Oost, K. V. (2015). Improving the global applicability of the RUSLE model—adjustment of the topographical and rainfall erosivity factors. *Geoscientific Model Development*, 8(9), 2893-2913.
- Nikkami, D. & Shadfar, S. (2021). Soil erosion mapping in sediment gauged watersheds of Iran. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 479-496. (In Persian).
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 54, 438-447.
- Prato, T. (2005). Modeling ecological impacts of landscape change. *Environmental Modeling & Software*, no. 20, pp. 1359-1363.
- Rafaai, N. H., Abdullah, S. A. & Reza, M. I. H. (2020). Identifying factors and predicting the future land-use change of protected area in the agricultural landscape of Malaysian peninsula for conservation planning. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100298.

- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G., McCool, D. & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), United States Department of Agriculture Washington, DC.
- Renard, K.G. & Freimund, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology* 157(1-4): 287-306.
- Romano, G., Abdelwahab, O. M. & Gentile, F. (2018). Modeling land use changes and their impact on sediment load in a Mediterranean watershed. *Catena*, 163, 342-353.
- Saffari, A., Nouri, A. A. & Karami, J. (2018). Investigation about the influence of land-cover and land use changes on soil erodibility potential, case study: Gharesou, Gorganrood. (In Persian).
- Teng, H., Rossel, R. A. V., Shi, Z., Behrens, T., Chappell, A. & Bui, E. (2016). Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*, 77, 156-167.
- Veldkamp, A. & Lambin, F. 2001. Predicting land- use change. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, no. 85, pp. 1-6.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*.
- Yan, H., Wang, L., Wang, T. W., Wang, Z. & Shi, Z. H. (2020). A synthesized approach for estimating the C-factor of RUSLE for a mixed-landscape watershed: A case study in the Gongshui watershed, southern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107009.
- Yang, X. (2014). Deriving RUSLE cover factor from time-series fractional vegetation cover for hill slope erosion modelling in New South Wales. *Soil Research*, 52(3), 253-261.
- Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T. & Musiake, K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological processes*, 17(14), 2913-2928.
- Yousefi, S., Moradi, H. R., Hosseini, S. H. & Mirzaee, S. (2011). Land use change detection using Landsat TM and ETM+ satellite images over Marivan. (In Persian).