



## Studying the performance of urea and potassium sulfate fertilizers on water erosion of soils by using a rainfall simulator (Case study: Heidareh region of Hamedan)

Seyed Davoud Mohammadi<sup>1\*</sup>, Fatemeh Rouhi Moein<sup>2</sup>

1. Associate Prof., Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2. M.Sc. of Environmental Geology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

### Article info

#### Article history

Received: 28 December 2021

Accepted: 01 September 2023

#### Keywords:

Dispersive, compacted soil, permeability, runoff, dip.



### Abstract

Water and wind erosions are the two main factors of soil degradation. But these two processes alone, without human intervention, cause natural erosion and pose little risks to soil. Soil provides food security, preserves water resources, and affects the global climate. Soil reduces water pollutants and is also a carbon storage. The economic need for soil is greater in the world's developing countries because, in these regions, deprived farmers do not have enough resources to carry out erosion control methods. As a result, the risk of soil erosion continues to increase. Various parameters affect the erodibility of soils, including fertilizers. To investigate the effect of urea and potassium sulfate fertilizers on the soils of the Heidareh area of Hamedan, three sampling stations were selected, and then basic experiments including soil sample size, determination of  $G_s$ , Atherberg limits, pinhole test, determination of calcium carbonate percentage, determination of the organic matter, chlorine determination, sulfate content, and pH were conducted on soil samples. In this regard, the percentages of 1%, 3%, 5%, 7%, and 9% of urea fertilizer and potassium sulfate fertilizer were added separately to the soil samples of the studied stations. Then pinhole and erodibility tests were conducted using a rainfall simulator with different percentages of urea fertilizer and potassium sulfate fertilizer on soil samples of all three stations in dips of 10, 20, 30, and 40 degrees. The results of the erosion test show that with increasing the amount of fertilizers, the amount of eroded soil in all sampling stations has decreased significantly. The reason for reducing erosion can be related to increasing soil permeability and reducing runoff, by increasing the amount of fertilizers and the lack of fertilizers' effect on soil dispersion.

### Introduction

Water and wind erosion are the two main factors of soil degradation. However, these two processes alone and without human intervention cause natural erosion and do not pose many risks to the soil (Hosseini et al., 2018). Rainfall simulation has been widely

used to understand soil erosion and related processes. It is not possible to design and build a device that produces rain similar to natural rain without knowing the factors that affect the physics of rainfall (Gilley and Risse, 2000, Le Bissonais et al., 2005). Due to the critical conditions of erosion in Iran, a laboratory has

**DOI** <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.9.1.105981>

\*Corresponding author: Seyed Davoud Mohammadi; E-mail: d.mohammadi@basu.ac.ir

**How to cite this article:** Mohammadi, D., Rouhi Moein, F., 2023. Studying the performance of urea and potassium sulfate fertilizers on water erosion of soils by using a rainfall simulator (Case study: Heidareh region of Hamadan). Kharazmi Journal of Earth Sciences 9(1), 150- 168. <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.9.1.105981>



been officially built at the site of the Soil Conservation and Watershed Research Institute to simulate rainfall and erosion, which is different from other types in the country in many aspects (Mahmoodabadi and Arabkhedri, 2011). In this research, in order to investigate the effect of urea and potassium sulfate fertilizers on the erodibility of the soils of Heidareh region, three sampling stations were selected, and then basic engineering tests were performed on the soil samples. In this regard, various amounts of urea fertilizer and potassium sulfate fertilizer were added separately to the soil samples of the studied soils. Erosion test was conducted using a rainfall simulator on soils containing different percentages of urea fertilizer and potassium sulfate fertilizer for three soil types of studied stations in different dips.

### Materials and methods

#### Sampling and preparation

This research includes three sampling stations 1, 2 and 3. In general, the sampling was carried out by hand and the distribution of the samples was in a zigzag pattern (Rouhi, 2019).

#### Physicochemical analyses

Physical and chemical tests in general include determination of Atterberg limits, soil sample size and classification, determination of specific gravity of solid particles (Gs), X-ray diffraction test (XRD), determination of soil lime percentage (calcimetry), determination of soil organic matter percentage determination of sulfate

percentage, determination of pH, pinhole test, standard compaction test. Also, erosion tests were carried out with a rainfall simulator on basic soils impregnated with fertilizers at dips of 10, 20, 30 and, 40 degrees.

#### Erodibility tests using a rainfall simulator

In the studies undertaken for erodibility assessment of the studied soils (basic soil and impregnated by fertilizers), a rainfall simulator has been used.

#### Results and discussion

The results of the tests performed on the base soil (unimpregnated)

-The obtained results show that the studied soils are classified in CL and SM classes. Also, none of the soil samples fall into the dispersive soil class.

-The results of engineering tests performed on soils impregnated by fertilizers

- Dispersion test (pinhole)

Pinhole test samples have been prepared by using the optimal water content and dry unit weight obtained from 1, 3, 5, 7 and 9 percentages of urea and potassium sulfate fertilizers by using standard compaction test. The obtained results show that all soil had not dispersion potential.

- The results of erosion tests using a rainfall simulator on soils impregnated by fertilizers

The erosion rate of the soil samples of the studied stations was evaluated in each of the percentages of 1%, 5% and 9% of fertilizers of urea and potassium sulfate in dips of 10, 20, 30 and 40 degrees. The results obtained from the erosion test are given in Tables 1 to 6.

Table 1. Weight loss due to soil erosion under the influence of urea in station 1 (Kg/m<sup>2</sup>/h)

Urea	Dip 10 degree	Dip 20 degree	Dip 30 degree	Dip 40 degree
1%	65.31	96.73	128.40	63.01
5%	38.37	50.58	58.18	26.56
9%	7.34	15.43	44.73	7.39

Table 2. Weight loss due to soil erosion under the influence of urea in station 2 (Kg/m<sup>2</sup>/h)

Urea	Dip 10 degree	Dip 20 degree	Dip 30 degree	Dip 40 degree
1%	58.46	106.39	87.20	83.72
5%	60.58	68.02	48.83	36.62
9%	28.51	43.60	26.16	22.67

Table 3. Weight loss due to soil erosion under the influence of urea in station 3 (Kg/m<sup>2</sup>/h)

Urea	Dip 10 degree	Dip 20 degree	Dip 30 degree	Dip 40 degree
1%	104.65	113.37	122.09	85.46
5%	85.46	95.93	109.88	68.02
9%	34.08	68.02	80.23	16.44

Table 4. Weight loss due to soil erosion under the influence of potassium sulfate in station 1 (Kg/m<sup>2</sup>/h)

Potassium sulfate	Dip 10 degree	Dip 20 degree	Dip 30 degree	Dip 40 degree
1%	123.83	156.97	169.18	136.04
5%	92.02	139.53	153.48	106.39
9%	78.48	87.20	116.84	95.77

Table 5. Weight loss due to soil erosion under the influence of potassium sulfate in station 2 (Kg/m<sup>2</sup>/h)

Potassium sulfate	Dip 10 degree	Dip 20 degree	Dip 30 degree	Dip 40 degree
1%	122.09	130.81	104.65	95.93
5%	103.69	113.37	77.05	71.30
9%	79.36	92.44	58.25	58.18

Table 6. Weight loss due to soil erosion under the influence of potassium sulfate in station 3 (Kg/m<sup>2</sup>/h)

Potassium sulfate	Dip 10 degree	Dip 20 degree	Dip 30 degree	Dip 40 degree
1%	106.39	109.88	122.09	113.37
5%	69.76	85.46	95.93	69.67
9%	17.70	18.22	26.16	11.08

## Conclusion

The results show that increasing the percentage of urea and potassium sulfate fertilizers has no effect on the amount of decrease or increase of divergence values. Considering that in order to create the phenomenon of dispersion, the presence of sodium ion along with clay minerals is mandatory, therefore, considering that the fertilizers used in this research did not contain sodium ions, therefore, the lack of dispersion of soils containing urea and potassium sulfate

fertilizers is logical. The results of the erosion test show that with the increase in the amount of fertilizers, the amount of weight loss of soil has decreased significantly in all sampling stations. The reason for the decrease in erosion rate can be related to the increase in soil permeability (due to the increase in the volume of water infiltrated to the end of containers containing compacted soil (pan) and the decrease in the amount of runoff, with the increase in the amount of fertilizers used and the lack of soil dispersion phenomenon.

## References

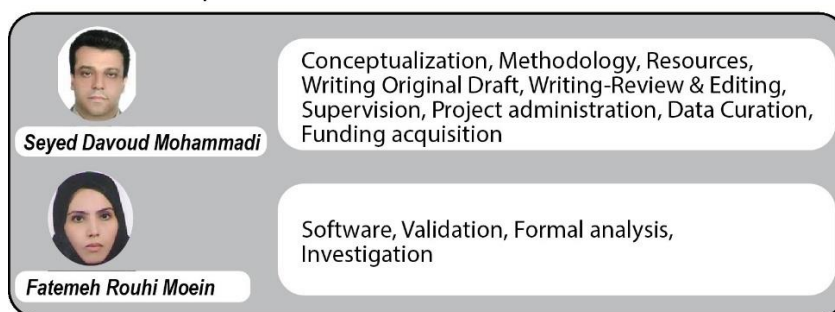
Gilley, J. E., Risse, M., 2000. Runoff and soil loss as affected by the application of manure.

American Society of Agricultural Engineers. 43(6), 1583-1588.

Hosseini, S.A., Sarjaz, M., Sharifi, F., Gholami SefidKohi, M.A., 2018. Evaluation of bio mulch erodibility on steep lands using rainfall

- simulation. *Watershed Engineering and Management*. 10(1), 108-120. In Persian.
- Le Bissonais, Y., Cerdan. O., Lecomte. V., Benkhadra. H., Souchere.V., Martin. P., 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena*, 62, 111-124.
- Mahmoodabadi, M., Arabkhedri, M., 2011. Rainfall and Erosion Simulation Laboratory Soil Conservation and Watershed Management Research Institute: Characteristics, Capabilities and Applications. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 1(3), 1-11. In Persian.
- Özdemir, N., Öztürk, E., Kop Durmuş O. T., Ekberlia, I., 2015. Effects of organic and inorganic amendments on soil erodibility. *Eurasian Journal of Soil Science*. 4 (4) 266-271.
- Rouhi, F., 2019. Effect assessment of usual fertilizers on the erodibility of soils in Heidareh using rainfall simulator. M.Sc. thesis of Environmental Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, p. 104. In Persian.

### CRediT authorship contribution statement





## مطالعه عملکرد کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم بر فرسایش آبی خاک‌ها با دستگاه شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: منطقه حیدره همدان)

سید داود محمدی<sup>۱\*</sup>، فاطمه روحی معین<sup>۲</sup>

۱. دانشیار زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران  
۲. کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>تاریخچه مقاله</b> دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰	فرسایش آبی و بادی دو عامل اصلی تخریب خاک می‌باشند. اما این دو فرآیند به تنهایی و بدون دخالت‌های انسانی موجب فرسایش طبیعی شده و خطرات زیادی را برای خاک ندارند. خاک نه تنها امنیت غذایی را فراهم می‌کند و حافظ منابع آب است، بلکه بر آب و هوای جهانی نیز تأثیر می‌گذارد. خاک آلاینده‌های آب را کاهش داده و همچنین ذخیره گاه کربن است. نیاز به خاک از نظر اقتصادی در کشورهای درحال توسعه جهان بیشتر است چرا که در این مناطق کشاورزان محروم منابع کافی برای انجام شیوه‌های کنترل فرسایش ندارند و در نتیجه خطرات فرسایش خاک هم‌چنان روبه افزایش است. به منظور بررسی تأثیر کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم به خاک‌های منطقه حیدره همدان سه ایستگاه نمونه برداری انتخاب شده، و سپس آزمایش‌های پایه خاک از جمله دانه‌بندی نمونه‌های خاک، تعیین GS، حدود آتربرگ، آزمایش پین هول، تعیین درصد کربنات کلسیم، تعیین ماده آلی، تعیین کلر، تعیین مقدار سولفات و pH بر روی نمونه‌های خاک پایه انجام شد. در این راستا به نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه مقادیر درصدی ۱/۳، ۵/۵، ۷/۷ و ۹/۹ کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم به طور مجزا اضافه گردید. سپس، آزمایش‌های پین هول و نیز فرسایش با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران با درصد‌های مختلف از کود شیمیایی‌های ذکر شده بر روی نمونه‌های خاک هر سه ایستگاه در شیب‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه انجام گردید. نتایج آزمایش فرسایش نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر کودهای شیمیایی مقدار خاک فرسایش یافته در همه ایستگاه‌های نمونه برداری کاهش چشمگیر داشته است. علت کاهش میزان فرسایش را می‌توان به افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش میزان رواناب، با افزایش مقادیر کودهای شیمیایی مصرفی و نیز عدم تأثیر کودهای مورد استفاده بر میزان واگرایی خاک، مرتبط دانست.
<b>واژه‌های کلیدی</b> واگرایی، خاک متراکم، نفوذپذیری، رواناب، شیب	



### مقدمه

فرسایش آبی و بادی دو فرآیندی هستند که به تنهایی و بدون دخالت‌های انسانی موجب فرسایش طبیعی شده و خطرات زیادی را برای خاک ندارند. خاک امنیت غذایی را فراهم می‌کند و حافظ منابع

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.9.1.105981>

\*نویسنده مسئول: سید داود محمدی [d.mohammadi@basu.ac.ir](mailto:d.mohammadi@basu.ac.ir)

استناد به این مقاله: محمدی، د.، روحی معین، ف. (۱۴۰۲) مطالعه عملکرد کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم بر فرسایش آبی خاک‌ها با

دستگاه شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: منطقه حیدره همدان). مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۹،

شماره ۱، صفحه ۱۵۰ تا ۱۶۸. <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.9.1.105981>



خصوصیات خاک در اثر بارندگی در مناطق کشاورزی (Schiettecatte et al., 2008) می‌باشد.

اثر کود دامی بر رواناب و فرسایش خاک مطالعه شده است. در این مطالعه از ضایعات دامی برای بهبود تولید محصولات زراعی و خاصیت خاک به دلیل داشتن مواد مغذی استفاده شده است. کود دامی به شدت بر مقدار رواناب اثر می‌گذارد و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. البته کودی که به صورت سالانه به خاک اضافه می‌شود، کاهش چشمگیری در تولید رواناب و رسوب خاک دارد (Gilley and Risse, 2000). اثر مواد آلی و معدنی بر فرسایش پذیری خاک نیز بررسی شده است. در این مطالعه نمونه‌های خاک با مواد آلی و معدنی نظیر آهک، زئولیت و پلی آکریل آمید به مدت ۱۰ هفته در چهار سطح اصلاح شد. بعد از اصلاح و تیمار خاک با مواد آلی و معدنی، افزایش پایداری ساختار و کاهش فرسایش‌پذیری خاک مشاهده گردید. اثربخشی بهبود خاک، بسته به نوع و میزان مواد آلی و معدنی متفاوت است (Özdemir et al., 2015).

برخی مطالعات (Poly Tehran Group, 2020) نشان می‌دهد که مواد آلی چسبندگی ذرات خاک را افزایش می‌دهد، ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک را بهبود بخشیده و عملی مطلوب در جهت حفظ پایداری خاکدانه‌هاست. دادن مواد آلی به خاک می‌تواند به صورت‌های مختلف باشد، مانند اضافه کردن کود سبز به خاک، دادن کود حیوانی تخمیر شده و پخش کاه و کلش در سطح زمین. کودهای سبز که معمولاً از علوفه‌های لگومینوز تشکیل شده

آب بوده و بر آب و هوای جهانی نیز تأثیر می‌گذارد. خاک آلاینده‌های آب را کاهش داده و همچنین ذخیره گاه کربن است. نیاز به خاک از نظر اقتصادی در کشورهای در حال توسعه جهان بیشتر است چرا که در این مناطق کشاورزان محروم منابع کافی برای انجام شیوه‌های کنترل فرسایش ندارند و در نتیجه خطرات فرسایش خاک همچنان روبه افزایش است. اگرچه در کشورهای توسعه یافته نیز سیاست‌ها و برنامه‌های اجرای حفاظت خاک مؤثری انجام شده است، اما همچنان توجه بیشتری لازم می‌باشد. شبیه‌سازی باران به طور وسیعی در شناخت فرسایش خاک و فرایندهای مربوط به آن مورد استفاده قرار گرفته است. طراحی و ساخت دستگاهی که باران‌هایی مشابه باران طبیعی تولید نماید، بدون شناخت عوامل مؤثر در فیزیک باران، میسر نیست. با توجه به وضعیت بحرانی فرسایش در ایران، رسماً در محل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری برای شبیه‌سازی باران و فرسایش، آزمایشگاهی ساخته شده که از بسیاری جنبه‌ها متفاوت از سایر انواع موجود در کشور می‌باشد (Mahmoodabadi and Arabkhedri, 2011). استفاده از شبیه‌ساز باران در پارامترسازی و واسنجی مدل‌های با مبنای فیزیکی کاربرد دارد (Seeger and Rise, 2002). برخی تحقیقات در زمینه استفاده از شبیه‌سازی باران شامل بررسی تولید رواناب و فرسایش در شرایط مختلف اقلیمی (Imeson et al., 1998)، ساختمان خاک سطحی نظیر سله (Le Bissonais et al., 2005) و مطالعه تغییر در

مهندسی بر روی نمونه‌های خاک پایه انجام شد. در این راستا به نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه مقادیر مختلفی از کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم به طور مجزا اضافه گردید. آزمایش فرسایش با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران بر روی خاک‌های حاوی درصد‌های مختلف کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم برای سه ایستگاه مورد مطالعه در شیب‌های مختلف انجام گردید.

### مواد و روش‌ها

#### ساختگاه مورد مطالعه

#### نمونه برداری و آماده سازی

منطقه حیدره همدان یکی از دره‌های واقع در کوهستان الوند است و در حاشیه غربی شهر همدان، بین دره عباس‌آباد و دره وسیع و کم عمقی به نام دره فخرآباد قرار دارد. این تحقیق شامل سه ایستگاه نمونه‌برداری ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. مختصات نقاط ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول (۱) ارائه شده است. به طور کلی نمونه‌برداری به صورت دست‌خورده و پراکنش نمونه‌ها به صورت زیگزاک بوده است (Rouhi Moein, 2019).

است و همراه با شخم به خاک اضافه می‌شود در پایداری خاکدانه‌ها بسیار مؤثر است. کودهایی که قبلاً تخمیر شده باشند نیز مدتی طول می‌کشد تا بتوانند در پایداری خاک مؤثر واقع شوند.

حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2018) نیز به بررسی فرسایش‌پذیری مالچ‌های زیستی در سطوح شیب‌دار با استفاده از شبیه‌سازی بارش پرداختند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که همه تیمارهای مالچ در مقایسه با نمونه شاهد تأثیر معنی‌داری در کاهش رسوب داشتند و تأیید نمودند که مالچ‌های زیستی نقش مؤثری در کنترل فرسایش از جداره جانبی کانال‌های زهکش دارند. نتایج مشخص نمود که حضور پوشش مالچ تا بیش از ۹۰ درصد منجر به کاهش رسوب ناشی از باران می‌شود، لذا مالچ‌های ۱ و ۴ دارای بیشترین تأثیر در کاهش میزان فرسایش از جداره کانال‌های زهکش بودند. همچنین، مشخص شد افزایش غلظت مالچ‌های مورد استفاده در تمامی تراکم‌ها، در کاهش میزان رسوب خروجی تأثیر زیادی داشته است.

در این پژوهش، به منظور بررسی تاثیر کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم بر فرسایش‌پذیری خاک‌های منطقه حیدره همدان سه ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شده، و سپس آزمایش‌های پایه

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه‌برداری و محل ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه نمونه برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ایستگاه ۱	34° 49'	48° 25'
ایستگاه ۲	34° 49'	48° 26'
ایستگاه ۳	34° 49'	48° 27'

## آنالیزهای فیزیکو شیمیایی

مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و رفتار مهندسی خاک‌های منطقه مورد مطالعه مطابق استاندارد ASTM صورت پذیرفته است (جدول ۲). آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به طور کلی عبارت از تعیین حدود آتربرگ، دانه‌بندی و رده‌بندی خاک، تعیین وزن مخصوص ذرات جامد (Gs)،

آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD)، تعیین درصد آهک خاک‌ها (کلسیمتری)، تعیین درصد مواد آلی خاک‌ها، تعیین درصد سولفات، تعیین pH، انجام آزمایش واگرایی از نوع پین هول (سوراخ سوزنی)، انجام آزمایش تراکم استاندارد و آزمایش فرسایش با دستگاه شبیه‌ساز باران بر روی خاک‌های پایه و آغشته به کود شیمیایی در شیب‌های ۱۰، ۳۰، ۲۰ و ۴۰ درجه می‌باشد.

جدول ۲- تعداد آزمایش‌ها و استانداردهای انجام آنها در این پژوهش

Table 2. Number of experiments and their standards in this research

نام آزمایش	تعداد آزمایش	استاندارد آزمایش
دانه بندی مکانیکی	3	ASTM D422-63
هیدرومتری	3	ASTM D422-63
رده بندی خاک	3	ASTM D422-63
حدود آتربرگ	18	ASTM D4318-84
تعیین pH	3	ASTM D4972-18
XRD	3	ASTM STP38520S
تعیین Gs	9	ASTM D854-87
تراکم استاندارد	3	ASTM D698-78
درصد مواد آلی	3	ASTM D2974-14
درصد کلر و سولفات	18	ASTM C1580
واگرایی خاک	3	ASTM D4647

## آزمایش‌های فرسایش پذیری با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران

در بررسی‌های انجام شده مربوط به مطالعات فرسایش‌پذیری خاک‌های مورد مطالعه (خاک پایه و خاک آغشته شده به کود شیمیایی)، از دستگاه شبیه‌ساز باران (شکل ۱-ا)، استفاده گردیده است.

## معرفی اجزای دستگاه شبیه‌ساز باران

## مخزن آب

برای انجام آزمایش‌های فرسایش خاک با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران از یک منبع استوانه‌ای پلاستیکی به عنوان مخزن دستگاه استفاده شد که گنجایش ۲۰۰ لیتر آب را دارد. این مخزن آب مورد نیاز بارش را تامین می‌کند. در این آزمایش از آب شهری استفاده شده است. آب شهر همدان به دلیل بالا بودن غلظت یون کلسیم ( $Ca^{2+}$ ) و بی‌کربنات ( $HCO_3^-$ ) از نوع کربناته می‌باشد.



### صفحه بارش

صفحه بارش دستگاه شبیه‌ساز مورد استفاده در این پژوهش از ۹ نازل تشکیل شده است، به طوری که ۹ نازل به صورت موازی با یکدیگر قرار داشته و بر روی هر یک از این نازل‌ها شیرفلکه‌هایی قرار دارد که برای فعال یا غیرفعال نگه داشتن نازل‌ها استفاده می‌شود. ابعاد صفحه بارش ۱×۱ متر بوده و در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین قرار گرفته است. شکل ۱ صفحه بارش و شماره نازل‌ها را نشان می‌دهد.

### شاسی دستگاه

قسمت تولید کننده بارش دستگاه از لوله‌های پلی‌اتیلن تشکیل شده و جهت ثابت نگه داشتن آن بر روی بخشی به نام شاسی محکم شده است. ابعاد این شاسی برابر با ابعاد صفحه بارش (۱×۱ متر) می‌باشد که قابلیت تحمل وزن مجموعه لوله‌ها را دارد.

### پمپ و فشارسنج

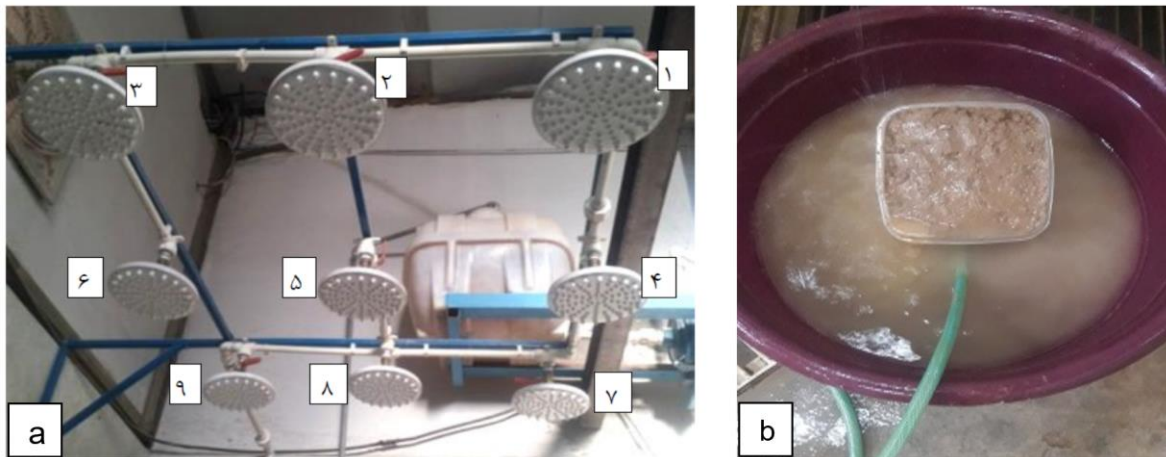
در این پژوهش جهت اعمال فشارهای مدنظر برای ایجاد شدت بارش‌های مختلف از یک پمپ با قدرت ۴ اسب بخار استفاده شده است. همچنین از یک فشارسنج با ظرفیت ۰/۵۹ مگاپاسکال (۸۶psi) جهت اندازه‌گیری فشارهای اعمالی بر نمونه‌های مورد مطالعه استفاده شده است.

### قالب‌های آماده سازی نمونه‌های خاک پایه

در این پژوهش ظروف ویژه‌ای (پن) جهت انجام آزمایش‌های فرسایش‌پذیری خاک‌های مورد مطالعه

مورد استفاده قرار گرفته است. ابعاد این ظروف ۳۰×۳۰×۱۵ سانتی‌متر بوده و مطابق با استاندارد ساخت دستگاه شبیه‌ساز باران می‌باشد. در این قالب‌ها از یک لایه ۱۰ سانتی‌متری شن درشت به عنوان زهکش استفاده می‌شود و سپس روی این زهکش شنی، یک لایه خاک متراکم شده براساس پارامترهای بدست آمده از آزمایش تراکم استاندارد (مقدار تراکم و رطوبت بهینه) مربوط به هرکدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه، به ضخامت ۵ سانتی‌متر قرار می‌گیرد. شکل ۱-b قالب آزمایش فرسایش خاک را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر کودهای شیمیایی متداول به کار رفته در منطقه مورد مطالعه (کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم) بر میزان فرسایش‌پذیری با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران، نمونه‌های خاک با درصدهای ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۹ کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم آغشته شده، سپس با استفاده از رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک بدست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه خاک‌های آغشته شده با کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم، نمونه خاک‌های مورد مطالعه در قالب‌های مخصوص فرسایش، متراکم شده است. در ادامه نتایج حاصل از این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.



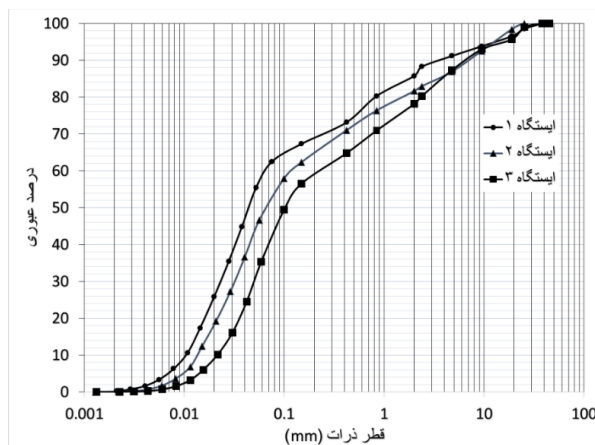
شکل ۱- (a) دستگاه شبیه‌ساز باران و اجزای آن. (b) یک نمونه از قالب‌های خاک متراکم برای اندازه‌گیری فرسایش پذیری  
 Fig. 1. a) Rainfall simulator and its components. b) A mold of compacted soil sample to measure erodibility

### نتایج

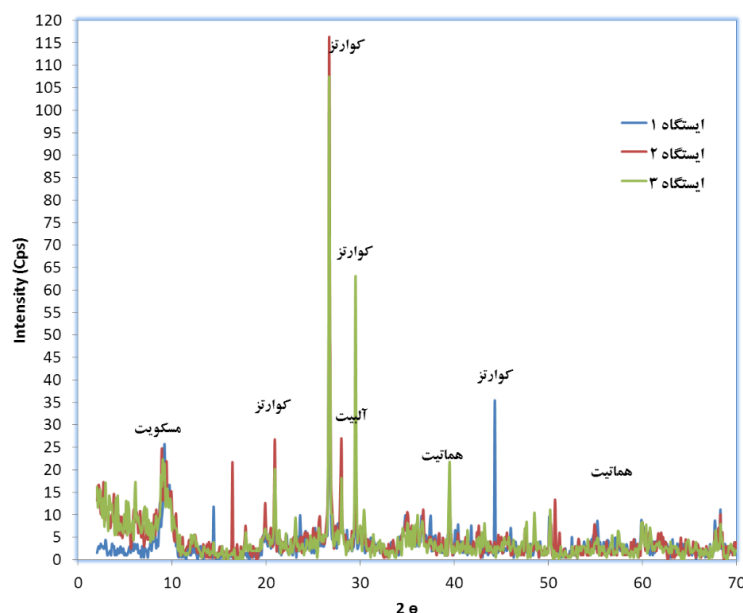
#### نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک پایه (غیر آغشته)

کلیه آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک پایه (غیر آغشته) مطابق استانداردهای ASTM انجام گردیده است. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نتایج آزمایش‌های

دانه‌بندی-هیدرومتری و XRD را نشان می‌دهد. نتایج بقیه آزمایش‌ها در جدول ۳ آورده شده است. همچنین نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش بر روی نمونه‌های پایه در آزمایش شبیه‌سازی باران در جدول ۴ آمده است.



شکل ۲- نمودارهای آنالیز دانه‌بندی و هیدرومتری نمونه خاک‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه  
 Fig. 2. Granulation and hydrometer analysis curves of the soil samples of the studied stations



شکل ۳- نمودارهای نتایج XRD به دست آمده برای خاک‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 3. Graphs of XRD results obtained for the soils of the studied stations

جدول ۳- خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام شده روی خاک‌های غیر آغشته مورد مطالعه

Table 3. Summary of the results of the experiments performed on the uncontaminated soils

ایستگاه	رده خاک	Gs	درصد رطوبت بهینه	وزن واحد حجم حداکثر (gr/cm3)	درصد کلر	درصد کربنات کلسیم	مقدار pH	مواد آلی (g)	توصیف واگرایی خاک
ایستگاه 1	CL	2.71	17.50	1.62	1.6	28.88	7.86	0.19	غیر واگرا
ایستگاه 2	CL	2.70	14	1.78	1.1	34.11	7.33	0.66	غیر واگرا
ایستگاه 3	SM	2.70	15	1.75	1.1	22.74	7.48	0.13	غیر واگرا

جدول ۴- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش بر روی نمونه‌های غیر آغشته مورد مطالعه بر حسب Kg/m2/h

Table 4. Weight loss results due to erosion on uncontaminated samples in terms of Kg/m2/h

شماره ایستگاه نمونه برداری	شیب 10 درجه	شیب 20 درجه	شیب 30 درجه	شیب 40 درجه
1	132.85	182.41	178.51	145.14
2	138.84	152.36	116.93	102.90
3	127.50	123.87	134.66	125.38

نتایج آزمایش‌های مهندسی انجام شده بر روی خاک‌های آغشته به کود شیمیایی آزمایش واگرایی (پین هول)

با استفاده از رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک به دست آمده از درصد‌های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم حاصل از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه خاک‌های

آغشته شده، نمونه‌های آزمایش پین هول آماده گردیده و نتایج به دست آمده برای درصدهای ۱، ۵ و ۹ در جدول های ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمایش پین هول نمونه خاک‌های حاوی کود شیمیایی اوره

Table 5. Results of pinhole test of soil samples containing urea fertilizer

ایستگاه 3 (SM)	ایستگاه 2 (CL)	ایستگاه 1 (CL)	درصد اوره
SD	SD	SD	1%
SD	SD	SD	5%
SD	ND	SD	9%

SD: رس با واگرایی کم که تحت هد 180 میلیمتر به آرامی فرسایش می یابد.

ND: رس‌های غیر واگرا با فرسایش کلونیدی بسیار جزئی یا بدون فرسایش تحت هد 380 میلیمتر

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمایش پین هول نمونه خاک‌های حاوی کود شیمیایی سولفات پتاسیم

Table 6. Results of pinhole test of soil samples containing potassium sulfate fertilizer

ایستگاه 3 (SM)	ایستگاه 2 (CL)	ایستگاه 1 (CL)	درصد سولفات پتاسیم
ND	ND	ND	1%
ND	ND	SD	5%
ND	ND	SD	9%

SD: رس با واگرایی کم که تحت هد 180 میلیمتر به آرامی فرسایش می یابد.

ND: رس‌های غیر واگرا با فرسایش کلونیدی بسیار جزئی یا بدون فرسایش تحت هد 380 میلیمتر

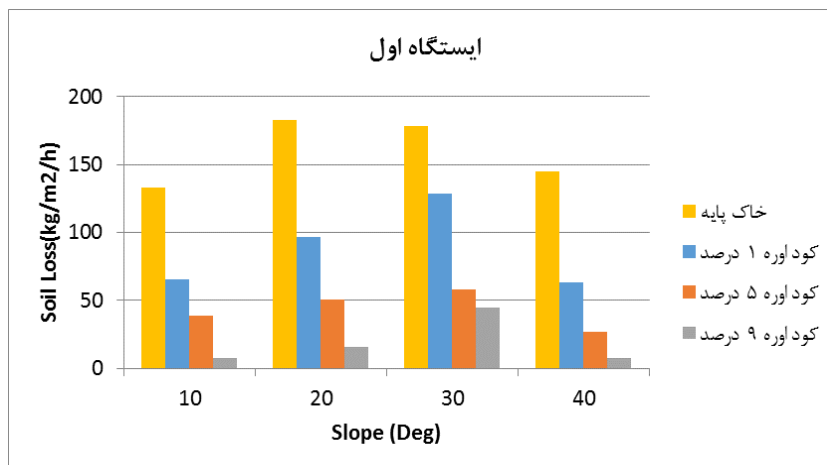
آزمایش فرسایش نمونه خاک‌های آغشته شده با کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم در جدول‌های ۷ تا ۱۲ آورده شده است. همچنین شکل های ۴ تا ۹، میزان فرسایش خاک‌های آغشته به کودهای اوره و سولفات پتاسیم را به صورت نمودارهای مقایسه‌ای به نمایش گذاشته است.

نتایج آزمایش‌های فرسایش با استفاده از شبیه‌ساز باران بر روی خاک‌های آغشته به کود شیمیایی میزان فرسایش نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه در هر یک از درصدهای ۱٪، ۵٪ و ۹٪ کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم در شیب‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه ارزیابی شد. نتایج بدست آمده از

جدول ۷- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش خاک تحت تأثیر کود اوره ایستگاه ۱ بر حسب  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$

Table 7. Weight loss results due to soil erosion under the influence of urea fertilizer in station 1 in terms of  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$

شیب 40 درجه	شیب 30 درجه	شیب 20 درجه	شیب 10 درجه	درصد اوره
63.01	128.40	96.73	65.31	1%
26.56	58.18	50.58	38.37	5%
7.39	44.73	15.43	7.34	9%



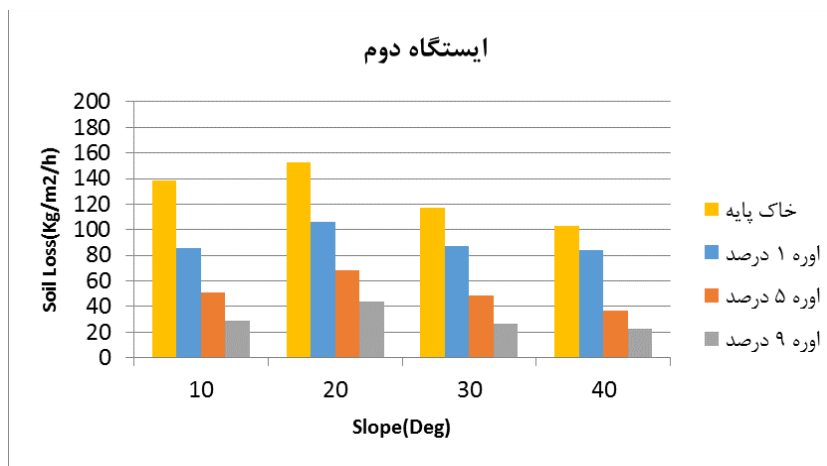
شکل ۴- نمودار مربوط به افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک حاوی کود اوره ایستگاه ۱

Fig. 4. Graph of weight loss due to erosion of soil samples containing urea fertilizer in station 1

جدول ۸- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش خاک تحت تأثیر کود شیمیایی اوره ایستگاه ۲ بر حسب Kg/m²/h

Table 8. Results of weight loss due to soil erosion under the influence of urea fertilizer in station 2 in terms of Kg/m²/h

شیب 40 درجه	شیب 30 درجه	شیب 20 درجه	شیب 10 درجه	درصد اوره
83.72	87.20	106.39	58.46	1%
36.62	48.83	68.02	60.58	5%
22.67	26.16	43.60	28.51	9%

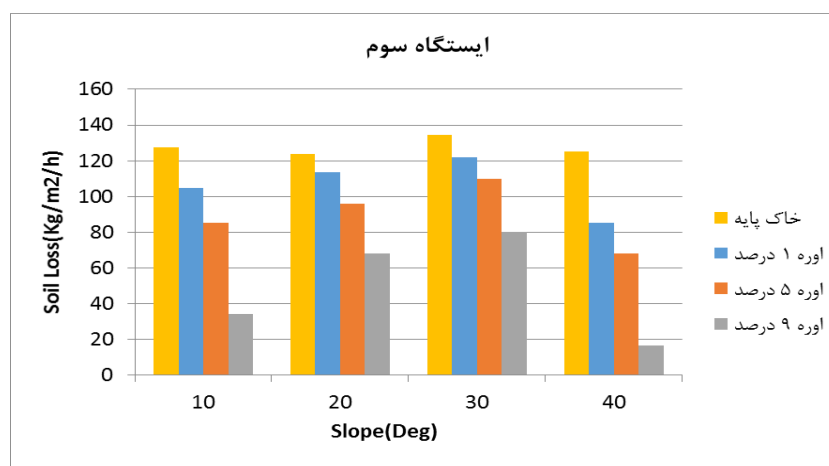


شکل ۵- نمودار مربوط به افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک حاوی کود اوره ایستگاه ۲

Fig. 5. Graph of weight loss due to erosion of soil samples containing urea fertilizer in station 2

جدول ۹- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش خاک تحت تأثیر کود اوره ایستگاه ۳ بر حسب  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$ Table 9. Weight loss results due to soil erosion under the influence of urea fertilizer in station 3 in terms of  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$ 

درصد اوره	شیب 10 درجه	شیب 20 درجه	شیب 30 درجه	شیب 40 درجه
1%	104.65	113.37	122.09	85.46
5%	85.46	95.93	109.88	68.02
9%	34.08	68.02	80.23	16.44

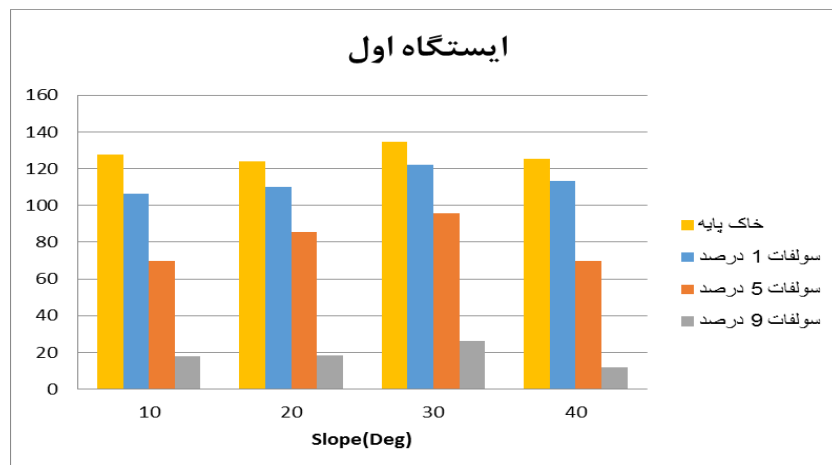


شکل ۶- نمودار مربوط به افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک حاوی اوره ایستگاه ۳

Fig. 6. Graph of weight loss due to erosion of soil samples containing urea fertilizer in station 3

جدول ۱۰- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک مورد مطالعه تحت تأثیر کود سولفات پتاسیم ایستگاه ۱ بر حسب  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$ Table 10. Weight loss results due to erosion of studied soil samples under the influence of potassium sulfate fertilizer in station 1 in terms of  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$ 

درصد سولفات پتاسیم	شیب 10 درجه	شیب 20 درجه	شیب 30 درجه	شیب 40 درجه
1%	123.83	156.97	169.18	136.04
5%	92.02	139.53	153.48	106.39
9%	78.48	87.20	116.84	95.77



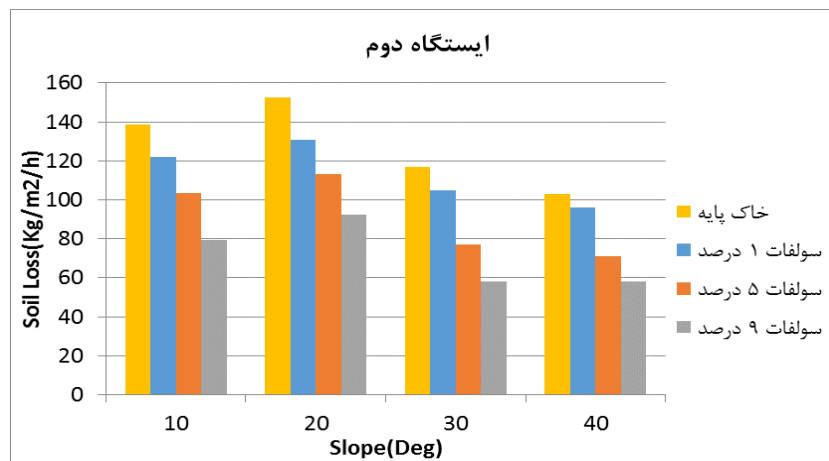
شکل ۷- نمودار مربوط به افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک با درصد‌های مختلف کود سولفات پتاسیم ایستگاه ۱  
Fig. 7. Graph of weight loss due to erosion of soil samples with different percentages of potassium sulfate fertilizer in station 1

جدول ۱۱- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک مورد مطالعه تحت تأثیر کود سولفات پتاسیم ایستگاه ۲ بر حسب  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$   
Table 11. Weight loss results due to erosion of studied soil samples under the influence of potassium sulfate fertilizer in station 2 in terms of  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$

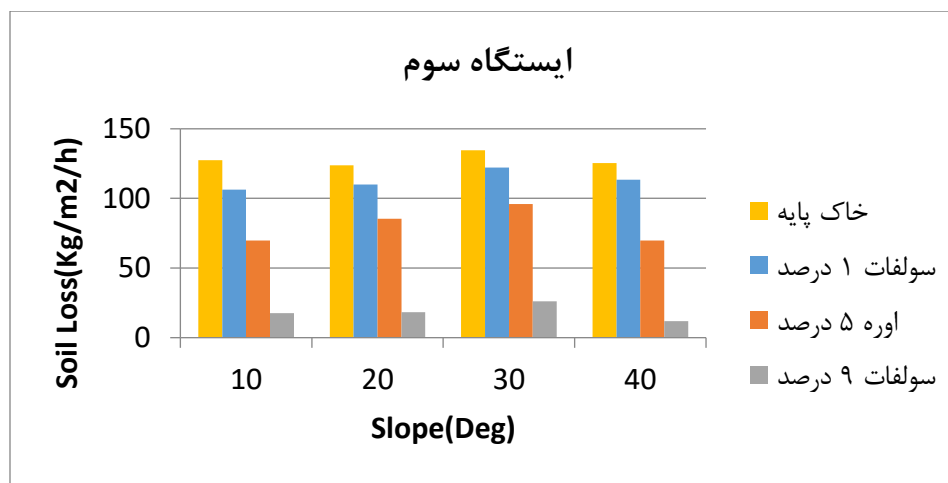
شیب 40 درجه	شیب 30 درجه	شیب 20 درجه	شیب 10 درجه	درصد سولفات پتاسیم
95.93	104.65	130.81	122.09	1%
71.30	77.05	113.37	103.69	5%
58.18	58.25	92.44	79.36	9%

جدول ۱۲- نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک مورد مطالعه تحت تأثیر کود سولفات پتاسیم ایستگاه ۳ بر حسب  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$   
Table 12. Weight loss results due to erosion of studied soil samples under the influence of potassium sulfate fertilizer in station 3 in terms of  $\text{Kg/m}^2/\text{h}$

شیب 40 درجه	شیب 30 درجه	شیب 20 درجه	شیب 10 درجه	درصد سولفات پتاسیم
113.37	122.09	109.88	106.39	1%
69.67	95.93	85.46	69.76	5%
11.08	26.16	18.22	17.70	9%



شکل ۸- نمودار مربوط به افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک با درصدهای مختلف کود سولفات پتاسیم ایستگاه ۲  
Fig. 8. Graph of weight loss due to erosion of soil samples with different percentages of potassium sulfate fertilizer in station 2



شکل ۹- نمودار مربوط به افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک با درصدهای مختلف کود سولفات پتاسیم ایستگاه ۳  
Fig. 9. Graph of weight loss due to erosion of soil samples with different percentages of potassium sulfate fertilizer in station 3.

با افزودن درصدهای ۱٪، ۵٪ و ۹٪ کودهای

شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم به نمونه‌ها و انجام

آزمایش پین هول انجام گردید. نتایج حاصل نشان

می‌دهد که درصد افزایش کودهای شیمیایی اوره و

سولفات پتاسیم تأثیری بر میزان کاهش یا افزایش

مقادیر واگرایی نداشته و تغییر رنگ جزئی محلول

خروجی از دستگاه پین هول نیز به دلیل انحلال مقدار

## تحلیل نتایج و بحث

تحلیل نتایج و بحث در سه بخش قابل جمع بندی

است:

تحلیل آزمایش واگرایی خاک حاوی کودهای

شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم



### بررسی میزان فرسایش پذیری نمونه‌های خاک حاوی کودهای شیمیایی سولفات پتاسیم در چهار شیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰

در بررسی فرسایش‌پذیری نمونه‌های خاک حاوی کود شیمیایی سولفات پتاسیم، همانند خاک‌های حاوی اوره، در شرایط فیزیکی یکسان، با افزایش درصدهای کود شیمیایی سولفات پتاسیم، مقدار فرسایش‌پذیری خاک هر سه ایستگاه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان (همانند رفتار خاک‌های حاوی اوره) افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب حاصل از آن دانست که با مطالعات گیلی و ریس (Gilley and Risse, 2000) مطابقت خوبی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تأثیر دو کود شیمیایی مورد مطالعه بر کاهش میزان فرسایش‌پذیری یکسان نبوده، به طوری که با مقایسه نمودارهای به دست آمده مشاهده می‌شود که نرخ کاهش میزان فرسایش خاک‌های مورد مطالعه، برای خاک‌های حاوی اوره به مراتب بیشتر از خاک‌های حاوی سولفات پتاسیم می‌باشد.

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

به منظور مطالعه عملکرد کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم بر فرسایش آبی خاک‌ها، سه ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه حیدره همدان انتخاب شده، و سپس آزمایش‌های پایه خاک از جمله دانه‌بندی نمونه‌های خاک، تعیین  $G_s$ ، حدود آتربرگ، آزمایش پین هول، تعیین درصد کربنات کلسیم، تعیین ماده آلی، تعیین کلر، تعیین مقدار سولفات و  $pH$  بر روی نمونه‌های خاک پایه انجام شد.

کمی از کودهای شیمیایی مصرفی می‌باشد. با توجه به اینکه جهت ایجاد پدیده واگرایی، حضور یون سدیم به همراه کانی‌های رسی الزامی است، لذا با توجه به اینکه کودهای مصرفی در این پژوهش، فاقد یون سدیم بوده‌اند، بنابراین عدم واگرایی خاک‌های حاوی کود شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم منطقی به نظر می‌رسد.

### بررسی میزان فرسایش‌پذیری نمونه‌های خاک حاوی کودهای شیمیایی اوره در چهار شیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه

در شرایط یکسان فیزیکی (شیب ثابت، شدت بارش ثابت و درصد کود یکسان)، با افزایش درصد کود شیمیایی اوره از ۱٪ به ۵٪ و ۹٪، مقدار فرسایش‌پذیری خاک هر سه ایستگاه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه افزودن کود شیمیایی اوره بر نتایج واگرایی،  $pH$  و تراکم خاک‌های مورد مطالعه تأثیر چندانی نداشته است، بنابراین تنها دلیل کاهش میزان فرسایش‌پذیری را می‌توان به افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش میزان رواناب ارتباط داد. در این راستا، نتایج به دست آمده با نتایج گیلی و ریس (Gilley and Risse, 2000) مطابقت دارد. در این پژوهش، تأثیر زاویه شیب بیش از سایر پارامترها بر میزان فرسایش‌پذیری خاک‌های مورد مطالعه نمایان بوده، به طوری که برای خاک‌های حاوی کود شیمیایی اوره در ایستگاه اول، بین مقادیر ۳۰ و ۴۰ درجه متغیر می‌باشد. در این راستا، مقادیر شیب بحرانی در ایستگاه دوم، ۲۰ درجه و برای خاک‌های ایستگاه سوم، ۳۰ درجه مشاهده شده است.

آزمایش فرسایش نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر کودهای شیمیایی مقدار خاک فرسایش یافته در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری کاهش چشمگیر داشته است. علت کاهش میزان فرسایش را می‌توان به افزایش نفوذپذیری خاک (به دلیل افزایش حجم آب نفوذ یافته به انتهای ظروف حاوی خاک متراکم شده (پن) و کاهش میزان رواناب، با افزایش مقادیر کودهای شیمیایی مصرفی و نیز عدم ایجاد پدیده واگرایی خاک، مرتبط دانست.

### قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا همدان به خاطر در اختیار قرار دادن هزینه‌های مربوط به این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از مسئولین محترم آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک این دانشگاه به دلیل همکاری در راستای این پژوهش سپاسگزاری می‌گردد.

### References

ASTM D422-63, 2000. Standard Test Method for particle size of soil. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM D854, 2000. Standard test methods for specific gravity of soil. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM D698-78, 2000. Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM D2974-14, 2020. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM C1580, 2021. Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil. Annual Books of ASTM Standards.

در این راستا به نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه مقادیر درصدی ۰.۱٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪، ۰.۷٪ و ۰.۹٪ کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم به طور مجزا اضافه گردید. سپس، آزمایش‌های پین هول (سوراخ سوزنی) و نیز فرسایش با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران با درصدهای مختلف کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم بر روی نمونه‌های خاک هر سه ایستگاه در شیب‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه انجام گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که درصد افزایش کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم تأثیری بر میزان کاهش یا افزایش مقادیر واگرایی ندارد. با توجه به اینکه جهت ایجاد پدیده واگرایی، حضور یون سدیم به همراه کانی‌های رسی الزامی است، لذا با توجه به اینکه کودهای مصرفی در این پژوهش، فاقد یون سدیم بوده‌اند، بنابراین عدم واگرایی خاک‌های حاوی کود شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم منطقی به نظر می‌رسد. نتایج

ASTM D4647, 1992. Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by Pinhole Test. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM D4318, 2000. Standard test method for Liquid Limit, plastic limit and plasticity index of soil. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM D4972-18, 2019. Standard Test Methods for pH of Soils. Annual Books of ASTM Standards.  
 ASTM STP38520S, 2019. Suggested Method for Applications of X-Ray Diffraction of Clay Structural Analysis to the Understanding of the Engineering Behavior of Soils. Annual Books of ASTM Standards.  
 Gilley, J. E., Risse, M., 2000. Runoff and soil loss as affected by the application of manure.

- American Society of Agricultural Engineers. 43(6), 1583-1588.
- Hosseini, S.A., Sarjaz, M., Sharifi, F., Gholami SefidKohi, M.A., 2018. Evaluation of bio mulch erodibility on steep lands using rainfall simulation. *Watershed Engineering and Managemen.* 10(1), 108-120. In Persian. Poly Tehran Group, 2020, <https://polytehran.ir/effect-of-erosion-on-soil-fertility/>
- Imeson, A.C., Lavee, H, A., Calvo, A., Cerda, A., 1998. The erosional response of calcareous soil along a climatological gradient in southeastern Spain. *Geomorphology.* 24, 3-16.
- Le Bissonais, Y., Cerdan. O., Lecomte. V., Benkhadra. H., Souchere.V., Martin. P., 2005. Variability of soil surface gharacteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena*, 62, 111-124.
- Mahmoodabadi, M., Arabkhedri, M., 2011. Rainfall and Erosion Simulation Laboratory Soil Conservation and Watershed Management Research Institute: Characteristics, Capabilities and Applications. *Journal of Irrigation and Water Engineering.* 1(3), 1-11. In Persian.
- Özdemir, N., Öztürk, E., Kop Durmuş O. T., Ekberlia, I., 2015. Effects of organic and inorganic amendments on soil erodibility. *Eurasian Journal of Soil Science.* 4 (4) 266-271.
- Rouhi Moen, F., 2019. Effect assessment of usual fertilizers on the erodibility of soils in Hydareh using rainfall simulator. M.Sc. thesis of Environmental Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, p. 104. In Persian.
- Seeger, M., Rise, J. B., 2002. Runoff generation on abandoned field in the Central Ebro Basin-result from modelling", In: Garcia-Ruiz, J.M., J.A.A. Jones and J. Arnaez. (Eds.), *Environmental Change and Water Sustainability*, CSIC. Zaragoza, 83-97.
- Schiettecatte, W., Jin, K., Yao, Y., Cornelis, W. M., Lu, J., Wu, H., Verbist, K., Cai, D., 2008. Soil management effects on runoff and soil loss farm field rainfall simulation. *Catena* 75, 191-199.