

جایگاه ساختمان خاک در حفظ آب باران در نواحی نیمه‌خشک

علی‌رضا واعظی^{1*}، فرشته حق‌شناس²

¹- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

²- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

پست الکترونیک نویسنده : fereshtehh74@gmail.com

چکیده

در کشاورزی دیم که به بارندگی طبیعی وابسته است، آب نقش کلیدی در تعیین میزان تولید محصولات ایفا می‌کند. این پژوهش به بررسی جایگاه ساختمان خاک در حفظ آب باران در نواحی نیمه‌خشک انجام گرفت. آزمایش در سه عرصه تحت دو نوع کاربری (مرتع و کشتزار) با خاک مختلف (لوم رسی، لوم رس سیلتی، لوم رس شنی، لوم شنی و شن لومی) انجام شد. نتایج نشان داد که خاک‌های لوم رسی با ظرفیت نگهداری آب باران (0/00018)، بیشترین قابلیت را در جذب و نگهداری رطوبت از خود نشان می‌دهند. در مقابل، خاک‌های شن لومی با ظرفیت (0/00014)، کمترین توانایی را در جذب و نگهداری رطوبت دارند. کاهش اندازه خاکدانه‌ها منجر به کاهش تخلخل و افزایش تراکم خاک می‌شود. این امر، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را کاهش داده و نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد. در نتیجه ذخیره آب باران در خاک کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: نفوذپذیری خاک، پایداری خاکدانه‌ها، کاهش شخم، پوشش گیاهی، ماده آلی.

مقدمه

کمبود آب یکی از چالش‌های جدی و فراگیر است که امروزه بسیاری از مردم جهان با آن مواجه هستند. پیش‌بینی می‌شود که در دهه‌های آینده، مشکلات مرتبط با آب شدت بیشتری پیدا کنند، به‌ویژه کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پیامدهای گسترده‌ای برای جوامع انسانی و محیط‌زیست خواهد داشت [1]. مطالعات متعددی ثابت کرده‌اند که فعالیت‌های شدید انسانی می‌تواند الگوهای استفاده از زمین را تغییر دهد و در نتیجه بر چرخه آب و منابع آب تأثیر بگذارد [2]؛ بنابراین، تغییرات کاربری زمین و تأثیرات آن بر هیدرولوژی به یکی از داغ‌ترین موضوعات در حوزه تغییرات محیط‌زیست جهانی تبدیل شده است. کمبود ظرفیت خاک برای حفظ آب و مواد مغذی در مناطق خشک به دلیل بارندگی کم، تبخیر زیاد و پوشش گیاهی کم است. رشد و احیای گیاهان در این مناطق به دلیل خشکی خاک و بیابانی شدن آن با مشکل مواجه می‌شود. نفوذ بارندگی در منطقه برای تغذیه آب خاک حیاتی است و بر بهبود پوشش گیاهی مرتع، تخریب زمین و شارژ مجدد آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارد [3]. قابلیت نفوذ خاک در افزایش ذخیره و نگهداری آب خاک نقش حیاتی دارد. نفوذپذیری خاک نقش مهمی در تنظیم چرخه آب در منطقه دارد و کاهش آن می‌تواند منجر به مشکلات جدی مانند خشک‌سالی و فرسایش خاک شود [4]. نفوذ آب به خاک فرآیندی حیاتی در چرخه هیدرولوژیکی است که ارتباط بین آب سطحی و زیرزمینی را برقرار می‌کند. عوامل مختلفی می‌توانند بر ویژگی‌های نفوذ آب به خاک تأثیر بگذارند، از جمله بافت خاک، رطوبت خاک، مواد آلی خاک و سایر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک [5]. عوامل خارجی نیز می‌توانند بر فرآیند نفوذ آب به خاک تأثیر بگذارند. به‌عنوان مثال، پوشش گیاهی می‌تواند با تغییر بافت خاک و ساختمان منافذ آن بر عملکرد نفوذ آب به خاک تأثیر بگذارد [3].

[6] به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر ساختمان خاک انجام دادند. محققان با مقایسه شخم عمیق، کشت بدون خاک‌ورزی و سیستم‌های کشت چندساله با روش سنتی شخم برگردان، به بررسی تغییرات ایجاد شده در پایداری خاکدانه، چگالی ظاهری و مقاومت نفوذ خاک پرداختند. نتایج نشان داد که کاهش شدت خاک‌ورزی (مانند کشت بدون خاک‌ورزی) به‌ویژه در خاک‌های سبک‌تر و پس از چند سال، به بهبود ساختمان خاک منجر شد. این بهبود در قالب افزایش

پایداری خاکدانه و کاهش تراکم آن مشاهده شد. در مقابل، شخم عمیق تأثیر قابل توجهی بر ساختمان خاک نداشت. در پژوهشی دیگر [7] محققان برای بهبود وضعیت خاک‌های شنی که به دلیل ساختمان ضعیف و توانایی کم در نگهداری آب، برای کشاورزی مناسب نیستند، از مخلوطی از بنتونیت و اسید هیومیک استفاده کردند. آن‌ها این مخلوط را به خاک‌های شنی اضافه کرده و سپس به مدت چند سال تغییرات ایجاد شده در خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که افزودن این مخلوط به خاک، ساختمان خاک را بهبود بخشیده، ظرفیت نگهداری آب را افزایش داده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد محصولات کشاورزی شد. [8] به بررسی ظرفیت ذخیره آب در خاک‌های مناطق کوهستانی با پوشش گیاهی متفاوت پرداختند. نتایج نشان داد که نوع پوشش گیاهی تأثیر قابل توجهی بر خواص خاک و در نتیجه ظرفیت ذخیره آب دارد. جنگل به دلیل داشتن محتوای آلی بیشتر و ساختمان خاک مناسب‌تر، بیشترین ظرفیت ذخیره آب را در مقایسه با دو پوشش گیاهی دیگر نشان داد.

حدود 35 درصد از اراضی مناطق نیمه‌خشک برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود. در این مناطق، اراضی با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی در معرض وقوع بارندگی‌های شدید قرار دارند. این خاک‌ها اغلب محتوای مواد آلی نسبتاً کمی دارند و به‌ویژه تحت شیوه‌های کشاورزی فشرده، ضعیف تجمع می‌یابند [9]. ساختمان خاک به راحتی توسط برخورد قطرات باران شکسته می‌شود که منجر به تشکیل پوسته در سطح خاک و افزایش رواناب و نرخ فرسایش خاک می‌شود [10]. مناطق نیمه‌خشک ایران با بارندگی نامنظم و کم، به دلیل تشکیل پوسته‌های سخت سطحی و ساختمان ضعیف خاک، از نفوذپذیری پایینی برخوردارند. این شرایط باعث افزایش رواناب سطحی و در نتیجه تشدید فرسایش خاک می‌شود [11]. ساختمان ضعیف خاک، توانایی آن را در جذب و نگهداری آب کاهش داده و باعث از بین رفتن خاک حاصلخیز می‌شود. در چنین شرایطی، کشاورزی مرتع با چالش‌های جدی مواجه است؛ بنابراین، بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری آن، یکی از راهکارهای کلیدی برای کاهش فرسایش آبی در این مناطق محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ساختمان خاک بر فرسایش در مراتع استان زنجان، در منطقه‌ای نیمه‌خشک واقع در شمال غرب ایران انجام شد. در این مطالعه، نمونه‌های خاک از پنج عرصه مرتعی با توزیع اندازه ذرات خاک متفاوت، در عمق 30 سانتی‌متری و با سه تکرار جمع‌آوری گردید که در مجموع شامل 15 نقطه نمونه‌برداری بود. برای بررسی تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک، نمونه‌ها از الک 8 میلی‌متر عبور کردند. پس از هوا خشک شدن، نمونه‌ها برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از الک 2 میلی‌متر عبور کردند. نتایج بررسی‌های میدانی نشان داد که ساختمان خاک، نقش بسیار مهمی در میزان فرسایش آبی در مناطق نیمه‌خشک ایفا می‌کند.

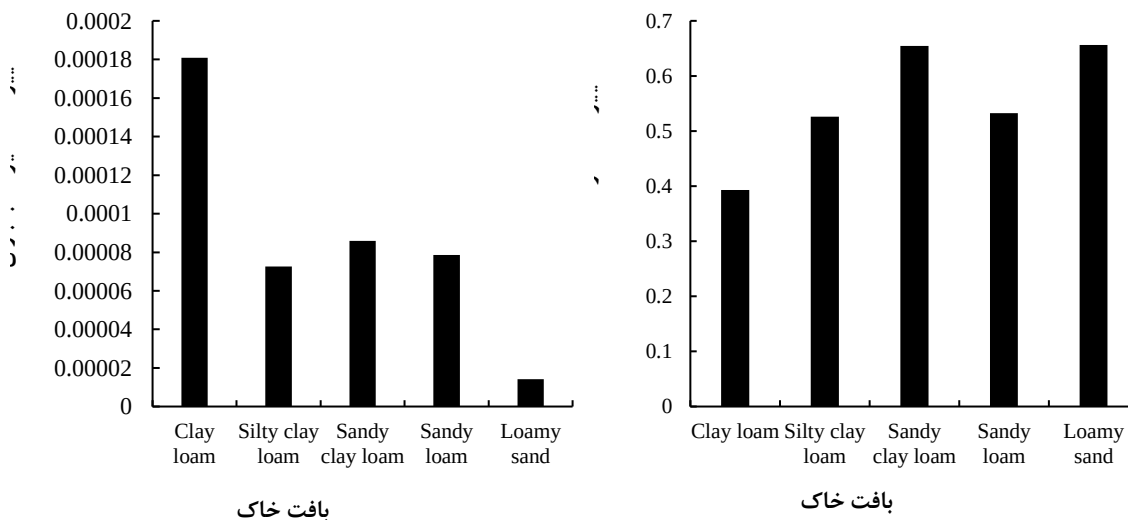
بررسی‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های خاک نشان داد که خاک‌های منطقه دارای بافت‌های متنوعی از جمله لوم رسی، لوم رس سیلتی، لوم رس شنی، لوم شنی و شن لومی هستند. همچنین، ویژگی‌های فیزیکی مهمی مانند چگالی ظاهری، ماده آلی و اندازه و خاکدانه‌ها نیز تعیین شد. تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار اکسل 2010 انجام شد. با مقایسه ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر چگالی ظاهری، ماده آلی و اندازه و خاکدانه‌ها در دو نوع کاربری (مرتع و کشتزار) اندازه‌گیری شد. میزان تغییرات این ویژگی‌ها و در نتیجه، ظرفیت ذخیره آب باران خاک پس از تغییر کاربری زمین محاسبه شد. برای سنجش میزان ذخیره آب باران در خاک، آزمایشی طراحی شد که در آن خاک درون فلومی قرار داده شد و تحت بارندگی شبیه‌سازی شده با شدت 50 میلی‌متر بر ساعت به مدت 60 دقیقه قرار گرفت. با اندازه‌گیری مقدار آب رواناب تولید شده و کسر آن از مقدار کل بارندگی، میزان آبی که در خاک نفوذ کرده و ذخیره شده است، محاسبه شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول (1) ارائه شده است. چگالی ظاهری خاک‌ها از کمترین مقدار در خاک لوم رسی ($1/17$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) تا بیشترین مقدار در خاک لوم شنی ($1/40$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) تغییر می‌کند. ماده آلی نقش مهمی در شکل‌گیری ساختمان خاک ایفا می‌کند. به‌طوری‌که خاک لوم رس شنی از بیشترین اندازه خاکدانه ($2/43$ میلی‌متر) درحالی‌که کمترین تشکیل خاکدانه در خاک لوم شنی ($0/8$ میلی‌متر) برخوردار است.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

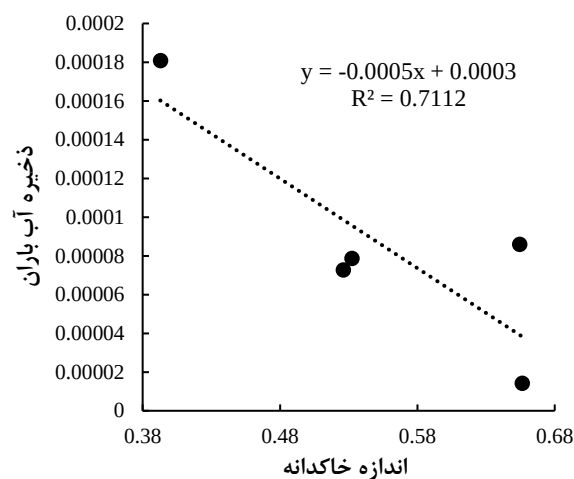
بافت خاک					ویژگی‌های خاک
شن لومی	لوم شنی	لوم رس شنی	لوم رس سیلتی	لوم رسی	
75.00	67.17	55.00	19.01	26.88	شن (درصد)
17.50	25.32	22.50	43.48	35.60	سیلت (درصد)
7.50	7.50	22.50	37.50	37/50	رس (درصد)
1.29	1.40	1.29	1.23	1.17	چگالی ظاهری (g/cm^3)
0.73	0.81	0.34	0.33	0.44	ماده آلی (درصد)
1.68	0.80	2.43	1.54	1.07	اندازه خاکدانه (mm)



شکل 1- تغییرات اندازه خاکدانه و ذخیره آب باران در خاک‌های مختلف

تغییرات اندازه خاکدانه و ذخیره آب باران در خاک‌های مختلف در (شکل 1) نشان داده شده است. خاک‌های لوم رس شنی و شن لومی، به دلیل کاهش 65 درصدی اندازه خاکدانه‌ها در اثر تغییر کاربری، بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر تخریب ساختمان‌ها نشان می‌دادند. خاک‌های لوم رسی با ظرفیت نگهداری آب باران ($0/00018$)، بیشترین توانایی را در جذب و نگهداری رطوبت دارند. در مقابل، خاک‌های شن لومی با ظرفیت ($0/00014$)، کمترین ظرفیت را از خود نشان می‌دهند.

کوچک شدن اندازه خاکدانه‌ها به‌طور مستقیم بر توزیع اندازه منافذ خاک اثرگذار بوده و منجر به کاهش تخلخل می‌شود. در نتیجه، سرعت نفوذ آب به درون خاک کاهش یافته و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز به‌طور قابل توجهی افت می‌کند. کاهش نفوذپذیری خاک، موجب افزایش حجم رواناب شده و در نهایت به کاهش قابل توجه ذخیره آب در خاک می‌شود. [12] در پژوهشی اثر روش‌های کشاورزی حفاظتی بر ویژگی‌های خاک انجام گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از روش‌های کشاورزی حفاظتی، ساختمان خاک بهبود یافته و توانایی خاک در جذب و نگهداری آب افزایش پیدا کرد. این بهبود در ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، باعث افزایش مقاومت گیاهان در برابر دوره‌های خشک‌سالی شد. مطالعات [13] نشان داد که شدت فرسایش و خصوصیات فیزیکی خاک، به‌ویژه ساختمان خاک، به‌صورت معناداری بر نرخ نفوذ آب اثر گذاشتند. در شرایط بارندگی کم، افزایش فرسایش منجر به کاهش نرخ نفوذ آب گردید. این کاهش در خاک‌هایی با ساختمان پایدارتر، بیشتر مشاهده شد. یافته‌های تحقیقات [14] حاکی از آن است که تبدیل مراتع به زمین‌های زراعی دیم باعث می‌شود آب باران به جای نفوذ در خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، به‌صورت رواناب از سطح زمین جاری شود و در نتیجه ذخایر آبی کاهش یابد.



شکل 2- رابطه بین نگهداشت آب باران و تخریب ساختمان خاک در اثر تغییر کاربری زمین.

همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود، تغییر کاربری اراضی در مناطق نیمه‌خشک با کاهش قابل توجه ظرفیت نگهداری آب در خاک همراه است. علت اصلی این پدیده، تخریب ساختمان خاک و به‌ویژه کاهش اندازه خاکدانه‌ها است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بین اندازه خاکدانه‌ها و ذخیره آب باران ارتباط مستقیم و معکوس وجود دارد ($R^2=0.71$). با کاهش اندازه خاکدانه‌ها، منافذ موجود در خاک کوچک‌تر شده و در نتیجه نفوذ آب به درون خاک به‌شدت کاهش می‌یابد. این امر منجر به افزایش رواناب سطحی و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی آب در خاک می‌شود. [15] مطالعات نشان دادند که باران مصنوعی به ساختمان خاک آسیب رسانده و آن را متراکم‌تر می‌کند. این امر باعث کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش توانایی آن در نگهداری آب می‌شود. [16] محققان دریافته‌اند که تبدیل جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی، باعث کاهش پایداری و اندازه خاکدانه‌ها، افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش تخلخل خاک شد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان می‌دهد که تغییر کاربری زمین در اراضی بکر باعث خرد شدن خاکدانه‌ها و کاهش اندازه خاکدانه می‌شود؛ این کاهش اندازه خاکدانه‌ها، به‌ویژه در خاک‌های لوم رس شنی و شن لومی، بسیار چشمگیر بوده و نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای این خاک‌ها در برابر تغییرات است. کوچک شدن اندازه خاکدانه‌ها، توزیع منافذ خاک را تغییر داده و منجر به کاهش تخلخل خاک می‌شود. این کاهش تخلخل، نفوذپذیری آب در خاک را کاهش داده و در نتیجه، سرعت نفوذ آب و هدایت هیدرولیکی خاک نیز کاهش می‌یابد. کاهش نفوذپذیری خاک، منجر به افزایش رواناب سطحی و کاهش ذخیره آب در خاک می‌شود. به طور کلی، تخریب ساختمان خاک، نه تنها باعث تغییر در اندازه خاکدانه‌ها می‌شود، بلکه به طور مستقیم بر کیفیت کلی خاک نیز اثر گذاشته و عواملی مانند نفوذپذیری آب و ظرفیت نگهداری آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که حفظ ساختمان خاک و مدیریت صحیح کاربری اراضی به منظور جلوگیری از تخریب خاک و حفظ منابع آب بسیار حائز اهمیت است.

منابع

1. Hu, J., Wu, Y., Wang, L., Sun, P., Zhao, F., Jin, Z., Wang, Y., Qiu, L., and Lian, Y. (2021). Impacts of land-use conversions on the water cycle in a typical watershed in the southern Chinese Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 593, 125741. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125741>
2. Li, J. and Zhou, Z. X. (2015). Coupled analysis on landscape pattern and hydrological processes in Yanhe watershed of China. *Science of The Total Environment*, 505, 927–938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.068>
3. Guo, L., Liu, Y., Wu, G.-L., Huang, Z., Cui, Z., Cheng, Z., Zhang, R.-Q., Tian, F.-P., and He, H. (2019). Preferential water flow: Influence of alfalfa (*Medicago sativa* L.) decayed root channels on soil water infiltration. *Journal of Hydrology*, 578, 124019.
4. Wu, G.-L., Yang, Z., Cui, Z., Liu, Y., Fang, N.-F., and Shi, Z.-H. (2016). Mixed artificial grasslands with more roots improved mine soil infiltration capacity. *Journal of Hydrology*, 535, 54–60.
5. Basset, C., Abou Najm, M., Ghezzehei, T., Hao, X., and Daccache, A. (2023). How does soil structure affect water infiltration? A meta-data systematic review. *Soil and Tillage Research*, 226, 105577.
6. Nunes, M. R., Karlen, D. L., and Moorman, T. B. (2020). Tillage intensity effects on soil structure indicators—A US meta-analysis. *Sustainability*, 12(5), 2071.
7. Zhou, L., Monreal, C. M., Xu, S., McLaughlin, N. B., Zhang, H., Hao, G., and Liu, J. (2019). Effect of bentonite-humic acid application on the improvement of soil structure and maize yield in a sandy soil of a semi-arid region. *Geoderma*, 338, 269–280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.014>
8. Wang, C., Zhao, C., Xu, Z., Wang, Y., and Peng, H. (2013). Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land*, 5, 207–219.

9. Vaezi, A. R. and Bahrami, H. A. (2014). Relationship between soil productivity and erodibility in rainfed wheat lands in northwestern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(6), 1455–1466.
10. Cerdà, A. (2000). Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil and Tillage Research*, 57(3), 159–166.
11. Rhoades, J. D. (1982). Soluble salts. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 167–179.
12. Eze, S., Dougill, A. J., Banwart, S. A., Hermans, T. D. G., Ligowe, I. S., and Thierfelder, C. (2020). Impacts of conservation agriculture on soil structure and hydraulic properties of Malawian agricultural systems. *Soil and Tillage Research*, 201, 104639.
13. Wei, Y., Wu, X., Cai, C., Wang, J., Xia, J., Wang, J., Guo, Z., and Yuan, Z. (2019). Impact of erosion-induced land degradation on rainfall infiltration in different types of soils under field simulation. *Land Degradation & Development*, 30(14), 1751–1764.
14. ضیائی، خ. اسمعیلی، ا. مصطفی‌زا داده، ر. گلشن، م. (1400). ارزیابی سناریوهای بهینه تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر واکنش هیدرولوژیک جریان در حوضه آبریز اهل ایمان. هیدروژئومورفولوژی.
15. Bocharnikov, V. S., Kozinskaya, O. V, Denisova, M. A., Bocharnikova, O. V, Repenko, T. V, and Pustovalov, E. V. (2022). Effect of the structure of artificial rain on the soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 965(1), 12008.
16. Saha, D., and Kukal, S. S. (2015). Soil structural stability and water retention characteristics under different land uses of degraded lower Himalayas of North-West India. *Land Degradation & Development*, 26(3), 263–271.

The role of soil structure in rainwater retention in semi-arid regions

Alireza Vaezi¹, Fereshteh Haghsheenas^{2*}

- 1- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
- 2- Corresponding author and PhD student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

* Corresponding author: fereshtehh74@gmail.com

ABSTRACT

In rainfed agriculture, which depends on natural rainfall, water plays a key role in determining crop production. This study investigated the role of soil structure in rainwater retention in semi-arid regions. Experiments were

conducted in three fields under two land uses (pasture and cropland) with different soils (clay loam, silty clay loam, sandy clay loam, sandy loam, and sandy loam). The results showed that clay loam soils with a rainwater retention capacity of (0.00018) showed the highest ability to absorb and retain moisture. In contrast, sandy loam soils with a capacity of (0.00014) had the lowest ability to absorb and retain moisture. A decrease in aggregate size led to reduced porosity and increased soil bulk density. This resulted in decreased saturated hydraulic conductivity and reduced soil permeability, As a result, rainwater storage in the soil decreases.

Keywords: Soil permeability, aggregate size, reduced tillage, vegetation cover, organic matter.