Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Effects of biological soil crusts on surface runoff quality

Alireza Hemati Daiv[1], Arash Zare Garizi[2]*, Vahedberdi Sheikh[3], Ali Mohammadian Behbahani[4]

[1] M.Sc. Student, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2] Assistant Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[3] Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4 Assistant Professor, Desert Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Extended Abstract

Introduction

Arid and semi-arid areas often have sparse and scattered vegetation cover. In many arid regions of the world, open spaces between plants are occupied by particular living organisms called biological soil crusts (BSCs) or biocrusts. BSCs are the dense population of living organisms such as cyanobacteria, algae, fungi, lichens, and mosses in different proportions that live on the soil surface or within the upper few millimeters of soil. The aim of the present study was to investigate the effect of biological soil crusts on surface runoff quality in hillslopes around Ajigol Wetland in the Golestan Province of Iran.

Materials and Methods

The study area is located in the northern part of Golestan Province. Elevation in the study area ranges from 7 to 32 meters above sea level. The topography of the area is gentle and the land surface is composed of loess deposits. According to the climatic conditions, the research area is classified as arid and semi-arid regions. Due to a lack of rainfall, high evaporation, and uneven distribution of rainfall throughout the year, as well as high soil salinity, it has low-growing and weak rangeland plants. The vegetation in the area is composed mainly of annual grass species scattered heterogeneously. They often appear after rain events and have a short growth period finishing the life cycle in one season. In this research a field rainfall simulator was used. First, field visits were conducted to select places for positioning rainfall-runoff simulation plots in different types of biocrusts. To eliminate the effect of slope on runoff processes, locations were selected whose slope was around the dominant slope of the region (around 20 %). Rainfall-runoff simulations were carried out using a rainfall simulator over 1 x 2-m plots with and without biological soil crusts. The intensity of the simulated rainfalls was about 80 mm h^{-1} and the duration of each simulation was 30 min. The plots were positioned over five different types of surface cover including 1) dominant moss cover, 2) dominant lichen cover, 3) mixed (moss + lichen) cover, 4) dominant shrub (*Artemisia* spp.) cover, and 5) Bare land. Sampling and measurement of some runoff quality variables (sediment, electrical conductivity (EC), acidity (pH), color, and Total Dissolved Solids (TDS)) were conducted at 15-minute intervals during the simulation, plus one more sample from a mixture of runoff of the whole simulation. For some other water quality variables (organic carbon, nitrate, phosphorus, and potassium) measurements were made only at the end of the simulation from the total runoff mixture. The data were analyzed using graphical methods (plots) and statistical tests: analysis of variance (ANOVA), Kruskal-Wallis, and Tukey's test.

Results and Discussion

The results showed that sediment concentrations were significantly ($P < 0.05$) lower for biocrust-covered plots compared to the plots without biocrusts. Extreme differences were observed for the bare soil. EC, pH, color and TDS values also had significant differences between different covers. For organic carbon, phosphorus, nitrate, and potassium, no significant differences ($P < 0.05$) between covers were detected by statistical tests though some notable differences were discernible on plots. The origin of runoff EC is mostly inorganic substances and it is

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

caused by natural and human-induced pollution. There was a significant difference ($P < 0.05$) between shrub-covered plots and plots with a combination of moss and lichen. EC for the shrub cover (*Artemisia* spp.) was found to be significantly higher than the mixed moss and lichen cover. The reason can be attributed to the increase in permeability and soil moisture in BSC dominated areas. Increased infiltration of water by biocrusts causes salts and ions to move deeper into the soil and this reduces the salinity of upper soil layer and surface runoff. With regard to runoff color, a significant difference ($P< 0.05$) was observed between bare soil and the other cover types. By producing polysaccharides and viscous materials, BSCs preserve and stabilize the soil surface materials and reduces the transport of metal ions (such as iron and manganese), decayed plant materials, organic matter, and animal waste as the main factors for the coloration of runoff. In contrast, more detachment and transfer of materials from bare soil have caused the runoff to become thicker and darker. The amount of sediment concentration from bare land was higher than shrubland and biocrust covers. For example, the average sediment concentration in the runoff from plots of bare land was about three times that of *Artemisia* plots. Another notable point was the large difference in sediment concentration between bare soil plots themselves. The reason for this was attributed to the presence of remaining roots of annual plants in the bare soil plots, which influence runoff and soil loss.

Conclusions

Overall, the results indicate the major effect of BSCs on runoff quality. So, taking proper measures to protect them and prevent their destruction is of great importance for soil and water conservation as well as water quality preservation in downstream wetlands. Therefore, it is necessary for government agencies to pay more attention to BSC-covered hillslopes around the Ajigol Wetland so no more damages are imposed on these fragile unique resources. As no comprehensive map of BSC covers the study area is present, it is recommended that such a map be prepared using satellite and drone imagery. Then, by combining the results of this study with the information obtained from mapping and generalizing it to the entire region, it is possible to make an overall estimate of the effect of BSCs on the water quality of downstream wetlands which is necessary for better-informed planning and decision-making. Exclosure and cover protection measures to prevent physical damages caused by human activities need to be implemented for the BSC-covered areas so they can continue their function as living mulch and protect soil from water and wind erosion.

Keywords: Ajigol Wetland, Biocrust, Lichen, Moss, Rainfall simulation

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: arash.zare@gau.ac.ir

Citation: Hemati Daiv, A., Zare Garizi, A., Sheikh, V., & Mohammadian Behbahani, A. (2023). Effects of biological soil crusts on surface runoff quality. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 93-106.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11617.1151
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.8.2

Received: 12 October 2022, Received in revised form: 06 November 2022, Accepted: 06 November 2022, Published online: 06 November 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 4, pp. 93-106
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

ارزیابی اثر پوسته‌های زیستی خاک بر کیفیت رواناب

علیرضا همتی دایو[۱]، آرش زارع گاریزی[۲*]، واحدبردی شیخ[۳]، علی محمدیان بهبهانی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲] استادیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۳] دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۴] استادیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سطح خاک دارای پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده است. در بسیاری از مناطق خشک، فضای بین گیاهان توسط ریزموجوداتی تحت عنوان پوسته‌های زیستی خاک (از جمله: گلسنگ‌ها، خزه‌ها، قارچ و سیانوباکتری‌ها) پوشیده شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر پوسته‌های زیستی خاک بر کیفیت رواناب در تپه‌ماهورهای پیرامون تالاب آجی‌گل در استان گلستان انجام شد. برای انجام پژوهش، شبیه‌سازی باران در کرت‌های ۱×۲ مترمربعی، با شدت حدود ۸۰ میلی‌متر بر ساعت و با تداوم بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در نقاط با و بدون پوسته‌های زیستی انجام شد. تیمارهای مورد بررسی، پوستهٔ زیستی با پوشش غالب خزه، پوستهٔ زیستی با پوشش غالب گلسنگ، پوستهٔ زیستی با پوشش غالب ترکیبی خزه و گلسنگ، اراضی با پوشش غالب بوته‌زار و زمین لخت بود. متغیرهای کیفیت آب مورد بررسی نیز رسوب، هدایت الکتریکی، اسیدیته، رنگ و مواد جامد محلول است. نمونه‌برداری این متغیرها در حین آزمایش (زمان شروع ایجاد رواناب، دقیقه ۱۵و دقیقه ۳۰) انجام شد. علاوه‌بر آن یک نمونه نیز بعد از پایان عملیات شبیه‌سازی از مخلوط کل رواناب برداشته شد. برای تعدادی دیگر از متغیرهای کیفیت آب شامل کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم، اندازه‌گیری فقط در پایان شبیه‌سازی از مخلوط کل رواناب انجام شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری نیز با استفاده از روش‌های گرافیکی و آزمون‌های آماریِ تحلیل واریانس، کروسکال–والیس و توکی بررسی شد. نتایج نشان داد که، غلظت رسوب در نقاط دارای پوسته‌های زیستی کم‌تر از نقاط فاقد این پوسته‌ها بوده و در اکثر موارد خاک لخت نسبت به تیمارهای مختلف اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته است (خاک لخت سه برابر درمنه). سایر متغیرهای کیفیت رواناب (هدایت الکتریکی، اسیدیته، رنگ و مواد جامد محلول) نیز در پوشش‌های مختلف دارای اختلاف معناداری در سطح پنج درصد بودند. در مورد متغیرهای کربن‌آلی، فسفر، نیترات و پتاسیم، آزمون‌های آماری اختلافات معناداری بین پوشش‌های مختلف تشخیص ندادند، امّا بر روی نمودارهای آماری، اختلافات قابل‌توجهی بین پوشش‌ها قابل مشاهده بود. به‌طور کلّی، نتایج حاکی از تأثیر چشم‌گیر پوسته‌های زیستی بر متغیرهای کیفیت رواناب است. لذا، حفاظت از پوسته‌های زیستی و جلوگیری از تخریب آن‌ها، به‌منظور حفظ آب و خاک و نیز حفظ کیفیت آب در تالاب‌های پایین‌دست، ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: تپه‌ماهورهای آجی‌گل، خزه، شبیه‌سازی باران، کیفیت رواناب، گلسنگ

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: arash.zare@gau.ac.ir

استناد: همتی دایو، علیرضا، زارع گاریزی، آرش، شیخ، واحدبردی، و محمدیان بهبهانی، علی (۱۴۰۲). ارزیابی اثر پوسته‌های زیستی خاک بر کیفیت رواناب. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۹۳-۱۰۶.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11617.1151
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.8.2

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۴، صفحه ۹۳ تا ۱۰۶
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

بیش از ۴۰ درصد خشکی‌های جهان را مناطق خشک و نیمه‌خشک که با بحران کمبود آب مواجه هستند تشکیل داده‌اند (Belnap et al., 2016). تبخیر زیاد و به تبع آن کمبود و پراکندگی پوشش گیاهی از ویژگی‌های بارز مناطق خشک و نیمه‌خشک است. با این وجود در این مناطق، فضاهای آزاد در بین گیاهان آوندی در سطح خاک، توسط موجودات زنده و بسیار خاص پوشیده شده است که این جوامع تحت عنوان پوسته‌های زیستی خاک[1] شناخته می‌شوند (Belnap et al., 2001). پوسته‌های زیستی خاک مجموعه‌ای تنگاتنگ بین ذرات خاک و موجودات زنده‌ای مانند سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها، گلسنگ‌ها و خزه‌ها در نسبت‌های مختلف هستند که روی سطح خاک یا در چند میلی‌متر فوقانی خاک زندگی می‌کنند (Belnap et al., 2016). ذرات پراکندهٔ خاک به واسطهٔ حضور و فعالیت این موجودات به همدیگر اتصال می‌یابند و در نتیجه، پوسته‌های زیستی به‌عنوان یک لایه منسجم سطح زمین را پوشش می‌دهند (Belnap et al., 2016). این عمل، خاک را در برابر انواع فرسایش آبی و بادی مقاوم و حفاظت می‌کند. پوسته‌های زیستی سطح خاکدانه‌ها را در برابر عوامل فرسایش مقاوم می‌سازند و هم‌چنین با ترشح پلی‌ساکاریدهای برون سلولی و افزودن کربن آلی خاک باعث تشدید خاکدانه‌سازی و ایجاد منافذی که منجر به افزایش نفوذ آب در خاک می‌شود، خواهد شد. علاوه‌بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، پوسته‌ها باعث تغییراتی در ویژگی‌های شیمیایی در طول پروفیل خاک نیز می‌شوند (Ouyang, 2013). پوسته‌های زیستی خاک گسترش زیادی دارند و بر روی خاک‌های مختلف و نیز گیاهان مشاهده می‌شوند؛ به‌طوری که می‌توانند بیش از ۷۲ درصد از سطح خاک را در مناطق خشک و بیابانی تحت پوشش قرار دهند (Belnap et al., 2006). اغلب پوسته‌های زیستی نسبت به دماهای حدّی مقاوم هستند و به رطوبت کم‌تری نیاز دارند. وجود چنین خصوصیات باعث می‌شود این موجودات تحت هر نوع شرایطی که رشد گیاهان را با محدودیت مواجه می‌کند، به بقای خود ادامه دهند (Belnap et al., 2006). خاک مناطق خشک و نیمه‌خشک از سایر زیست‌بوم‌ها متفاوت است و بیش‌تر از گیاهان تحت تأثیر پوسته‌های زیستی تشکیل شده است (Chamizo et al., 2012).

توانایی پوسته‌ها برای تثبیت خاک مدت‌هاست که مورد توجه بوده است. این عملکرد فرصت‌های زیادی را برای درک و مدیریت مناطق خشک می‌دهد. با این حال، تنوع پوسته‌های زیستی و شرایط محیط استقرار آن‌ها به همراه تنوع در روش‌های مختلف آزمایش سبب شده نتایج مختلفی در مطالعات صورت گرفته به‌دست بیاید؛ در نتیجه برای به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تر که توانایی ارائه اطلاعات مفید در زمینهٔ نقش و اهمیت پوسته‌های زیستی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی داشته باشد، باید پژوهش‌های بیش‌تری صورت پذیرد.

در مورد اثر پوسته‌های زیستی بر کیفیت رواناب، پژوهش‌های بسیار اندکی انجام شده است (Felde et al., 2018). Williams et al. (2010) در پژوهشی پراکنش پوسته‌های زیستی خاک در صحرای مجاوه در آمریکا را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که پوسته‌های زیستی خاک مانند پوسته‌های گلسنگ و خزه و سیانوباکتری از راه ساختاری، ظرفیت نگه‌داری آب را افزایش داده و باعث کاهش فرسایش، افزایش حاصل‌خیزی و در نهایت کاهش روند بیابان‌زایی می‌شوند. Chamizo et al. (2014) اثر پوسته‌های زیستی بر هدر رفت کربن آلی خاک در اراضی دیم توسط بارندگی‌های طبیعی را بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که، کربن آلی رواناب (شامل کربن آلی محلول و کربن آلی متصل به رسوبات) برای پلات‌های با پوشش پوسته‌های زیستی در مقایسه با پوسته‌های فیزیکی خاک، به میزان چشم‌گیری کم‌تر بوده است. علی‌رغم موارد ذکر شده، پوسته‌های زیستی در اثر فعالیت‌های فشاری یا برشی ناشی از اقدامات انسانی از جمله زیر پا گذاشتن، چرا و یا تردد وسایل نقلیه، با توجه به این‌که بسیار شکننده هستند، به راحتی خرد می‌شوند. از دست دادن جزئی و کامل پوسته‌های زیستی منجر به کاهش ظرفیت آن‌ها برای تثبیت نیتروژن و کربن جو می‌شود هم‌چنین باعث افزایش قابل توجه نرخ فرسایش و از بین رفتن مواد آلی، ذرات ریز و مواد مغذی خاک می‌شود. Niu et al. (2017) نیز بیان داشتند که رشد و توسعهٔ پوسته‌های زیستی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نقش مهمی دارد. گسترش پوسته‌ها در خاک رشد ریزموجودات را بیش‌تر کرده که این کار موجب بهبود یافتن میکروزیستگاه خاک و بازسازی محیط‌زیست در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. نتایج حاصل از پژوهش Guan and Cao (2019) به‌منظور ارزیابی اثرات انواع پوسته‌های زیستی و خصوصیات بارندگی بر رواناب نشان داده که، زمان نفوذ قطرهٔ آب در پوسته‌های خزه بیش‌تر و هدایت هیدرولیکی اشباع کم‌تر از پوسته‌های تحت تسلط گلسنگ بوده و هم‌چنین عملکرد رواناب در خزه نسبت به گلسنگ به‌طور قابل توجهی بالاتر بوده است. Kakeh et al. (2020) به بررسی اثر پوسته‌های زیستی بر میزان شوری در شمال شرق استان گلستان پرداختند. طبق نتایج پژوهش آن‌ها، نفوذ بیش‌تر آب توسط پوسته‌های زیستی در داخل خاک باعث ورود نمک‌ها و کاتیون‌ها به اعماق خاک شده و میزان شوری رواناب را کاهش می‌دهند. در پژوهشی دیگر،

[1] Biological Soil Crusts

Kakeh et al. (2021) به بررسی اثر پوسته‌های زیستی بر میزان رواناب و رسوب در خاک‌های شور در مراتع قره‌قیر (تپه‌های پیرامون دریاچه آلاگل در استان گلستان) پرداختند و بیان کرده‌اند که خاک‌های شور و سدیمی عامل اصلی تخریب زمین در اراضی خشک بوده و با کاهش عملکرد خاک باعث تهدید معیشت دامداران در این مناطق شده و اغلب تحت تأثیر پوسته‌های زیستی هستند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داده که خاک‌های دارای پوستهٔ زیستی نسبت به خاک لخت دارای رواناب و رسوب کم‌تری بوده و باعث نفوذ بیش‌تر آب در داخل خاک شده است. هم‌چنین، پوسته‌های زیستی نقش مهمی را در حفظ عملکرد هیدرولیکی خاک ایفا کرده‌اند. Stovall et al. (2022) به ارزیابی اثرات پوسته‌های زیستی بر پایداری خاک پرداختند و نتیجه گرفتند که حضور پوسته‌های زیستی باعث شده تا پایداری سطح خاک بیش‌تر از پایداری خاک زیرسطحی باشد. Xu et al. (2022) به بررسی اثر انواع پوسته‌های زیستی بر میزان فسفر و نیتروژن کل و تثبیت کربن و نیتروژن در خاک پرداختند. آن‌ها دریافتند که، پوسته‌های زیستی بر تثبیت کربن و نیتروژن اثرگذار بوده و در مناطق بیابانی نسبت به علفزارها این اثرگذاری بیش‌تر بوده است. هم‌چنین، خزه‌ها و گلسنگ‌ها اثر مثبت قوی‌تری نسبت به پوسته جلبک داشتند. حضور پوسته‌های زیستی به‌طور قابل توجهی نیتروژن کل (۸۰/۷ درصد) و فسفر کل (۲۰/۳ درصد) را نسبت به اراضی فاقد پوسته‌زیستی افزایش داد.

در مجموع، از بررسی پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان دریافت که اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینهٔ پوسته‌های زیستی، به نقش پوسته‌ها بر ویژگی‌های خاک و یا میزان رواناب و رسوب پرداخته‌اند و در خصوص اثر پوسته‌های زیستی بر کیفیت رواناب پژوهش‌های بسیار اندکی انجام شده است. لذا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر پوسته‌های زیستی بر کیفیت رواناب سطحی انجام شده است.

بدین‌منظور، از دستگاه شبیه‌ساز باران برای شبیه‌سازی فرآیند بارش–رواناب در منطقهٔ آجی‌گل استان گلستان که انواع مختلفی از پوسته‌های زیستی در آن‌جا مشاهده می‌شود، استفاده شده است. پژوهش بر اساس اندازه‌گیری متغیرهای مختلف فیزیکی–شیمیایی رواناب و تجزیه و تحلیل دقیق آماری بنا شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند در درک بهتر فرآیندهای هیدرولوژیکی مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر باشد و به حفاظت از پوسته‌های زیستی منطقه کمک کند.

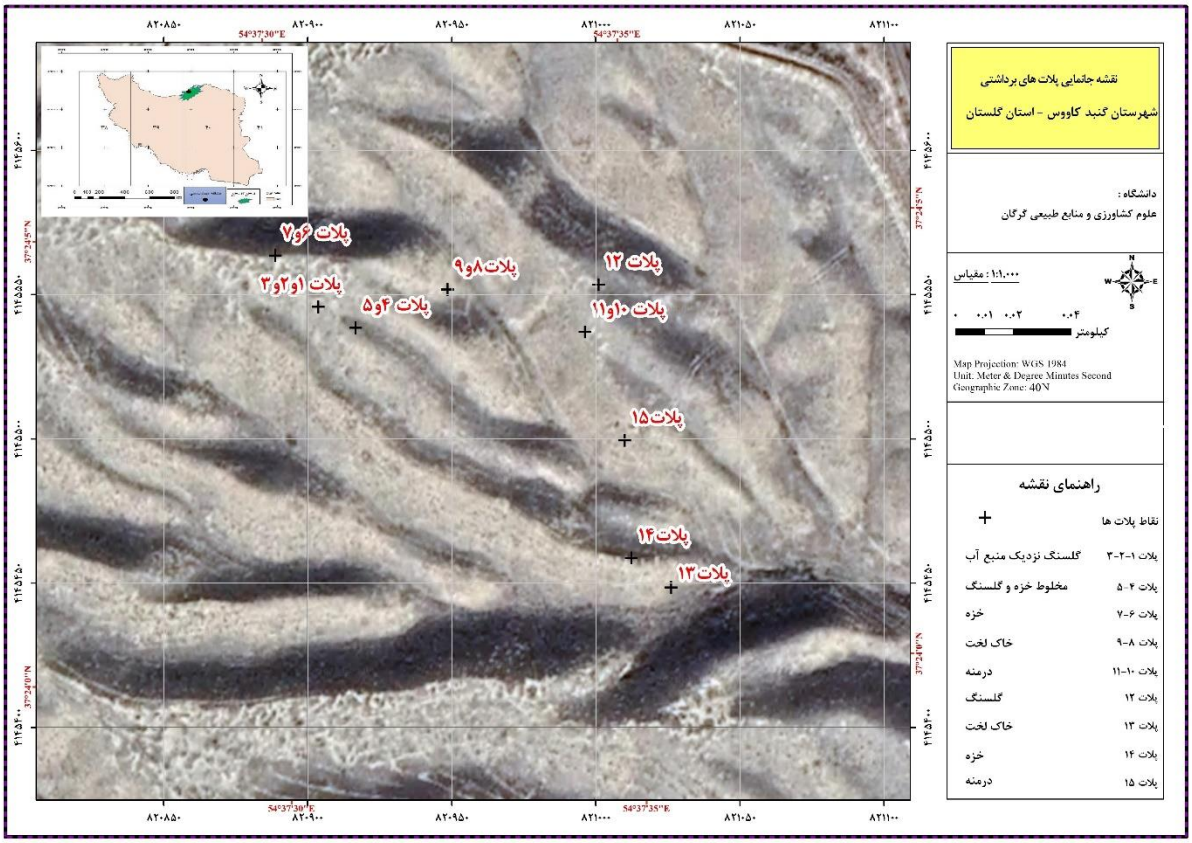
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد بررسی در تپه‌ماهورهای پیرامون دریاچه پلایایی آجی‌گل در شمال غربی استان گلستان و در جنوب شرق دریای خزر، بین طول‌های جغرافیایی ″ ۲۳ ′ ۲۴ °۳۷ و ″۱۹ ′۲۳ °۳۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۲۸ ′۳۸ °۵۴ و ″ ۵۶′ ۳۶ °۵۴ شمالی در شمال دشت گرگان– آق‌قلا در شهرستان اینچه برون واقع شده است (شکل ۱). تغییرات ارتفاعی در منطقهٔ مورد مطالعه با حداکثر ارتفاع ۳۲ متر و حداقل ارتفاع ۷ متر از سطح دریای آزاد است. شیب عمومی منطقه ملایم و لایهٔ سطحی آن بیش‌تر از جنس لس است. منطقهٔ مورد مطالعه از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود و میانگین بارندگی سالانه منطقه با توجه به نزدیک‌ترین ایستگاه موجود هواشناسی در منطقه (ایستگاه اینچه برون) حدود ۲۷۳ میلی‌متر است. به‌علت بالا بودن تبخیر، کمبود بارندگی و پراکنده بودن نزولات جوی در فصول مختلف سال و هم‌چنین بالا بودن میزان شوری خاک، دارای گیاهان مرتعی کم رشد و ضعیف است. پوشش گیاهی در منطقه از نوع گراس‌های یکساله است که به‌طور ناهمگن و پراکنده وجود دارند و اغلب بعد از بارندگی با دورهٔ رشد کوتاه ظاهر شده و دورهٔ زیست آن‌ها در یک فصل خاتمه می‌یابد. منطقهٔ مورد بررسی دارای پوسته‌های زیستی نظیر خزه، گلسنگ و بوته‌زار (درمنه) است که نقش حفاظتی دارد و قسمت‌های بدون پوستهٔ (زمین لخت) آن در معرض فرسایش شدید و تولید رسوب و هدر رفت عناصر غذایی قرار دارد.

برای بررسی اثر پوسته‌های زیستی (اراضی با پوشش خزه، گلسنگ و بوته‌زار) و پوسته‌های فیزیکی (زمین لخت) بر خصوصیات کیفیت رواناب در منطقه، با پیمایش میدانی و استقرار کرت، شبیه‌سازی‌های بارندگی–رواناب با شبیه‌ساز باران صحرایی روی همهٔ اراضی ذکر شده به‌عنوان تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش انجام شد (شکل ۱).

بدین‌منظور، از دستگاه شبیه‌ساز باران تحت فشار (BSTF) موجود در آزمایشگاه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استفاده شد. ابتدا با حضور در منطقه، بازدید میدانی و ارزیابی منطقه اقدام به انتخاب محل‌هایی برای استقرار کرت‌های شبیه‌سازی در تیپ‌های مختلف پوسته‌های زیستی شد. در انتخاب محل شبیه‌سازی، مکان‌هایی انتخاب شد که شیب آن‌ها در حدود شیب غالب منطقه (حدود ۲۰ درصد) باشد. ابعاد کرت شبیه‌سازی ۲ متر مربع (۲ × ۱) بود. هر کرت توسط ورقه‌های فلزی به طول ۲ متر، ضخامت ۲ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر از محیط اطراف جدا شد. انتهای کرت به‌صورت شیب‌دار و قیفی شکل ساخته شده تا رواناب و رسوب به مخزن جمع‌آوری هدایت شود. رگبارهای شبیه‌سازی دارای شدتی برابر با شدت بارندگی منطقه در دورهٔ بازگشت ۵۰ سال (حدود ۸۰ میلی‌متر بر ساعت) با دوام ۳۰ دقیقه انجام شد.



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و انواع پوسته‌های زیستی در پهنهٔ مورد پژوهش

Figure 1- Location of the study area and types of biological soil crusts in the area

با توجه به پوشش‌های غالب در منطقه و این‌که عملیات شبیه‌سازی بتواند الگوی مناسبی از فرآیندهای هیدرولوژیکی منطقه باشد و هم‌چنین بتوان به ارزیابی اثرات پوسته‌های زیستی بر کیفیت رواناب دقیق‌تر پی برد، تیمارهای مختلف انتخاب و برای هر تیمار، سه تکرار شبیه‌سازی شد. تیمارهای مورد بررسی شامل؛ ۱) پوستهٔ زیستی با پوشش غالب خزه، ۲) پوستهٔ زیستی با پوشش غالب گلسنگ، ۳) پوستهٔ زیستی با پوشش غالب ترکیبی (خزه+گلسنگ) ۴) اراضی با پوشش غالب بوته‌زار، ۵) زمین لخت و فاقد پوستهٔ زیستی (شکل ۲). در مجموع، ۱۵ شبیه‌سازی بارندگی-رواناب در سه روز متوالی از فصل پاییز در منطقه انجام شد.

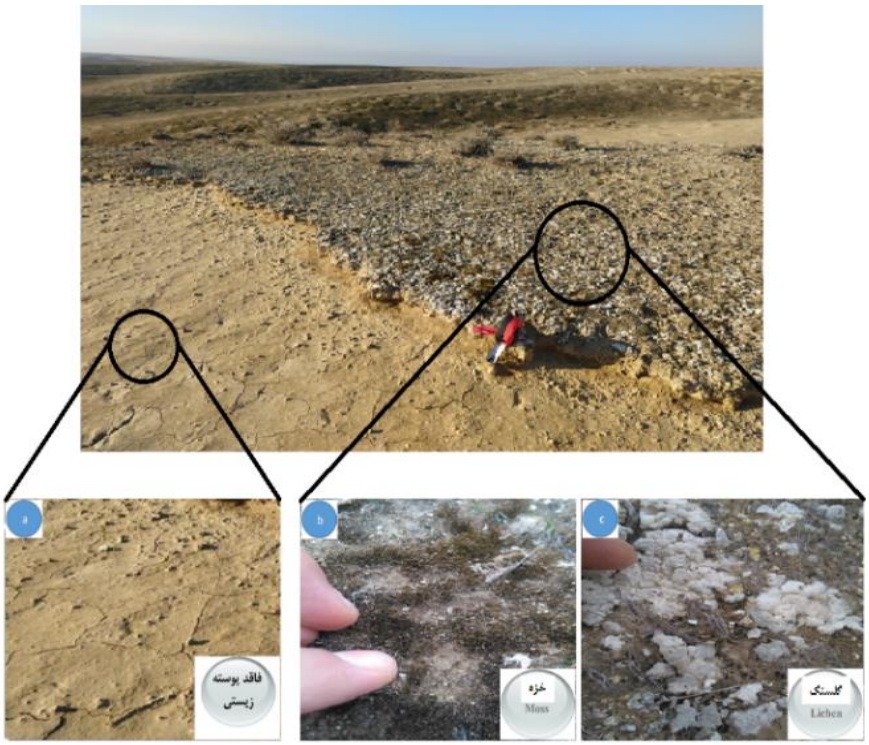
برای اندازه‌گیری متغیرهای کیفیت آب، نمونه‌برداری از رواناب از لحظهٔ شروع ایجاد رواناب، دقیقه ۱۵، لحظهٔ پایان رواناب و نیز مخلوط کل دورهٔ شبیه‌سازی انجام شد. در کل، تعداد ۶۰ نمونه رواناب جمع‌آوری شد (شکل ۳). اندازه‌گیری برخی از متغیرهای کیفیت رواناب شامل؛ رسوب، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، رنگ و مواد جامد محلول (TDS) برای همه نمونه‌ها انجام شد. برای برخی دیگر از متغیرهای کیفیت آب شامل کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم، اندازه‌گیری در انتهای آزمایش شبیه‌سازی انجام شد. متغیرهای هدایت الکتریکی و اسیدیته بلافاصله بعد از انجام هر شبیه‌سازی در عرصهٔ اندازه‌گیری و دیگر متغیرها در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه‌ها و روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (شکل ۴).

نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی ابتدا به نرم‌افزار اکسل وارد شد. سپس، داده‌ها برای تحلیل آماری به محیط R فراخوانی شد. برای بررسی تأثیر انواع پوسته‌های زیستی بر متغیرهای کیفیت رواناب از روش گرافیکی (نمودار Stripchart)، آزمون‌های آماریِ تحلیل واریانس[1] و کروسکال-والیس[2] استفاده شد. بعد از انجام مقایسات کلّی با استفاده از روش‌های فوق، از آزمون آماری توکی[3] برای مقایسات دو به دوی انواع پوشش‌ها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

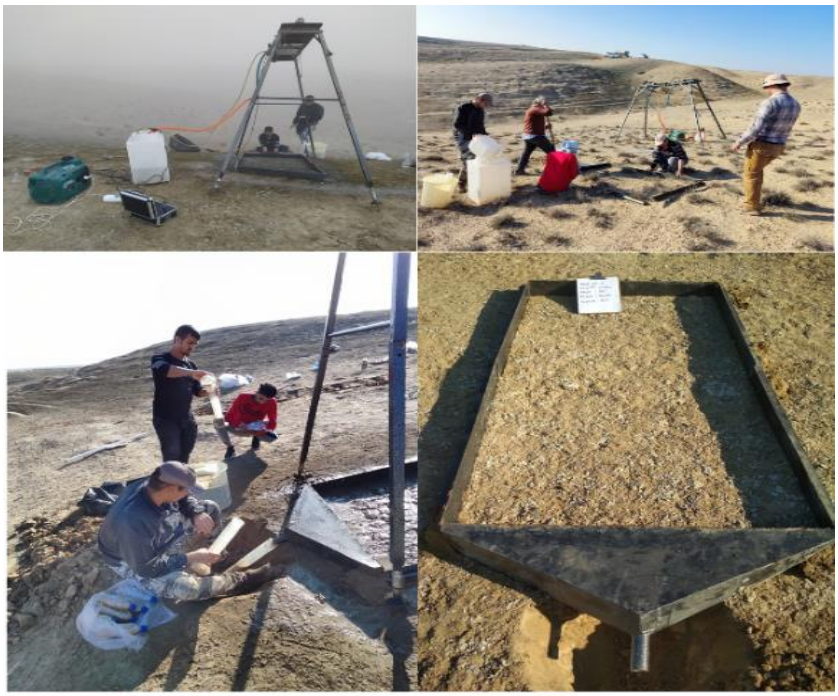
برای معرفی بهتر شرایط محیطی شبیه‌سازی و نمونه‌برداری‌ها، مشخصات تمامی کرت‌های آزمایشی مربوط به فرآیند شبیه‌سازی در عرصهٔ تحت پوشش پوسته‌های زیستی و فاقد آن در قالب جدول ۱ نشان داده شده است.

[1] Analysis of Variance (ANOVA)
[2] Kruskal–Wallis
[3] Tukey HSD test



شکل ۲- نمای کلی اراضی پوشیده از پوسته‌های زیستی و فاقد پوسته‌های زیستی: الف) اراضی فاقد پوستهٔ زیستی، ب) اراضی با پوشش غالب خزه، ج) اراضی با پوشش غالب گلسنگ

Figure 2- A view of land covered with biological crusts and without biological crusts. (a) Land with no biological crusts, (b) Land with a dominant moss cover, (c) Land with a dominant lichen cover



شکل ۳- انجام فرآیند شبیه‌سازی و نمونه‌برداری در عرصه

Figure 3- Simulation and sampling in the field

شکل ۴- اندازه‌گیری متغیرهای کیفیت رواناب در عرصه و آزمایشگاه
Figure 4- Measuring runoff quality variables in the field and in laboratory

نتایج تحلیل‌ها و نمودارهای آماری برای متغیرهای مختلف کیفیت رواناب در ادامه ارائه شده است. در نمودارها، خزه با نام *Moss*، گلسنگ با نام *Lichen*، درمنه (بوته‌زار) با نام علمی *Artimisia*، ترکیب خزه و گلسنگ با نام *Mixed* و خاک لخت با نام *Bare* ارائه شده است. هم‌چنین برای نام متغیرهای کیفیت رواناب از pH برای اسیدیته، EC برای هدایت الکتریکی، Color برای رنگ، Sed برای رسوب و TDS برای مواد جامد محلول در رواناب استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری در سطح احتمال ۹۵ درصد به‌دست آمده و در قالب جدول‌ها و شکل‌ها به نمایش گذاشته شده است.

برای نمونه، نمودار مقادیر EC اندازه‌گیری شده در رواناب حاصل از کرت‌های با پوشش‌های مختلف به همراه نتایج تحلیل واریانس و آزمون توکی در شکل ۵ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج مربوط به متغیر رنگ رواناب در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج تحلیل سایر متغیرهای کیفیت رواناب، در قالب جدول ۲ ارائه شده است.

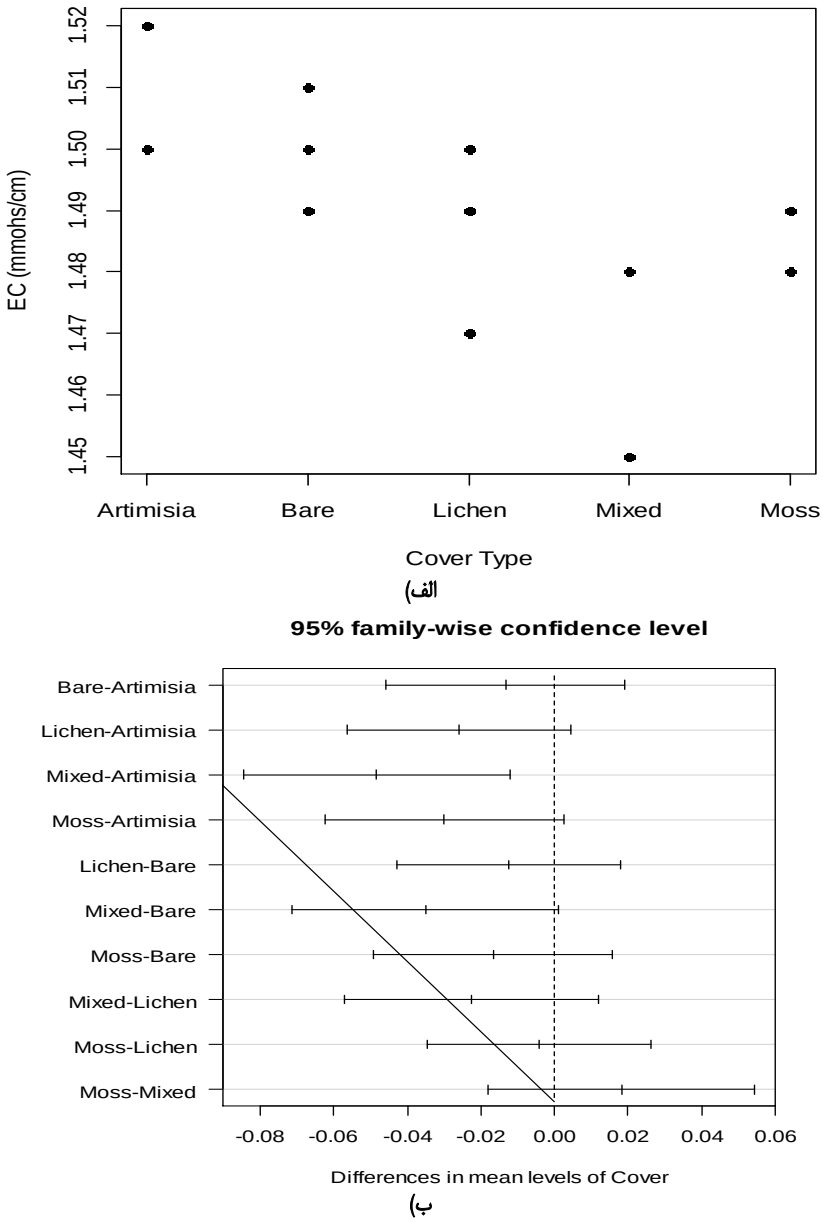
منشأ EC اغلب مواد غیرآلی بوده و ناشی از آلاینده‌های طبیعی و انسانی است و اختلاف قابل ملاحظه و معناداری در سطح خطای پنج درصد میان درمنه و ترکیب خزه و گلسنگ به‌عنوان پوشش دارای پوسته‌زیستی داشتند. به‌طوری‌که میزان هدایت الکتریکی در پوشش درمنه خیلی بیش‌تر از پوشش ترکیبی خزه و گلسنگ بوده است که علت آن را می‌توان به افزایش نفوذپذیری و رطوبت قابل دسترس خاک و خاصیت انباشتگی پوسته‌های زیستی نسبت داد که باعث کاهش وضعیت شوری می‌شود و نیز نفوذ بیش‌تر آب توسط پوسته‌های زیستی در داخل خاک باعث ورود نمک‌ها و کاتیون‌ها به اعماق خاک شده و میزان شوری رواناب را کاهش می‌دهند.

جدول ۱- مشخصات کلی کرت‌های آزمایشی
Table 1- General characteristics of the experimental plots

شماره کرت	نوع پوشش	درصد پوشش (درصد)	شیب کرت (درصد)	جهت شیب
1	گلسنگ	40	15	جنوبی
2	گلسنگ	45	16	جنوبی
3	گلسنگ	27	14	جنوبی
4	خزه و گلسنگ	70	16	شمالی
5	خزه و گلسنگ	60	17	شمال شرقی
6	خزه	85	23	شمالی
7	خزه	65	24	شمالی
8	خاک لخت	2	20	شمال شرقی
9	خاک لخت	3	20	شمال شرقی
10	درمنه	33	20	جنوبی
11	درمنه	27	21	جنوبی
12	گلسنگ	75	16	شمال شرقی
13	خاک لخت	2	20	جنوب شرقی
14	خزه	75	20	شمالی
15	درمنه	18	21	جنوبی

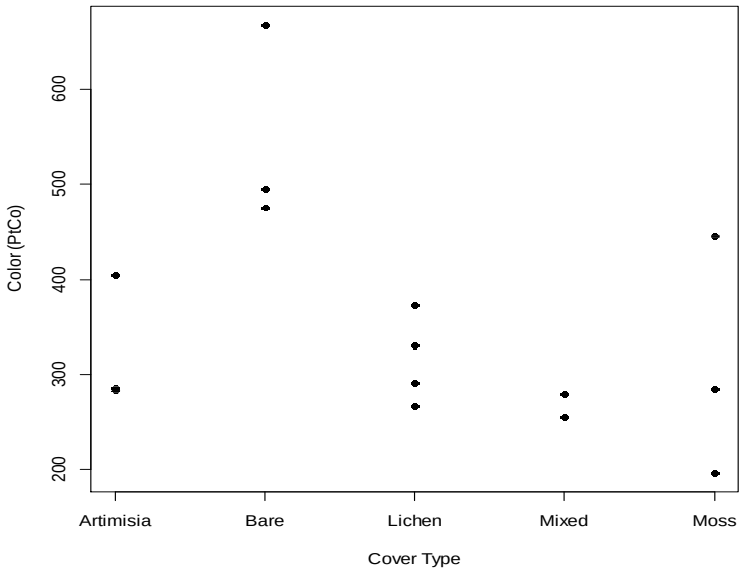
این یافته‌ها با نتایج پژوهش Kakeh et al. (2020) که در نزدیکی همین منطقه انجام شده، تطابق دارد. در مورد متغیر رنگ رواناب در تیمار خاک لخت و بدون پوشش نسبت به اکثر تیمارها و انواع پوسته‌های زیستی در سطح خطای پنج درصد، اختلاف

معنادار مشاهده شد که علت آن می‌تواند حضور پوسته‌های زیستی باشد که با تولید مواد پلی‌ساکاریدی و چسبنده باعث حفظ و تثبیت سطح خاک شده و انتقال یون‌های فلزی از جمله آهن، منگنز، مواد گیاهی پوسیده، مادهٔ آلی و یا فضولات دامی از سطح خاک (به‌عنوان عوامل اصلی پررنگ شدن رواناب)، را در خاک‌های حاوی پوسته‌های زیستی کاهش داده است. در مقابل، کنش و انتقال بیش‌تر مواد از خاک لخت به‌دلیل نداشتن پوشش حفاظتی موجب پررنگ شدن رواناب خروجی از کرت‌های مربوط به خاک لخت شده است. مقدار غلظت رسوب در زمین لخت نسبت به اراضی دارای پوسته‌های زیستی بیش‌تر بوده و اختلاف قابل توجهی داشته است. به‌عنوان مثال، میانگین غلظت رسوب در رواناب حاصل از خاک لخت حدوداً سه برابر درمنه بوده است؛ به‌طوری‌که مقدار غلظت رسوب در درمنه ۲/۸ میلی‌گرم در لیتر و بیش‌ترین مقدار آن در خاک لخت ۸/۴۶ میلی‌گرم در لیتر است.

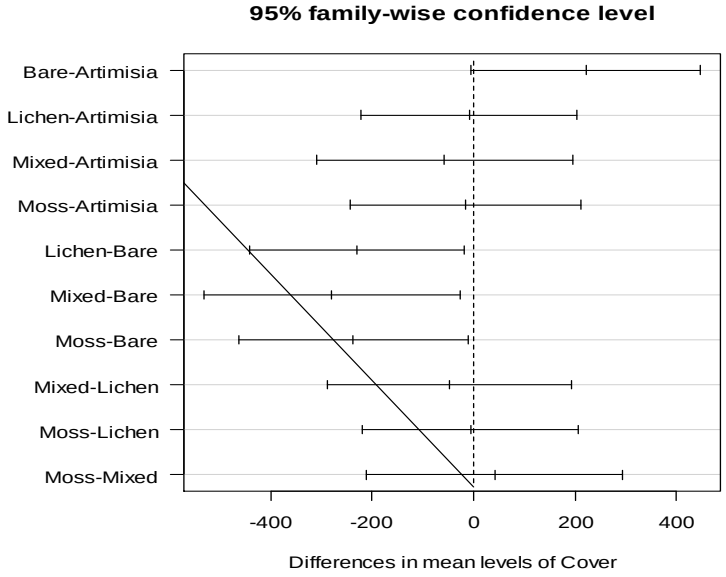


شکل ۵- نتایج تحلیل متغیر کیفیت رواناب (EC) در انواع مختلف پوسته‌های زیستی، الف) میانگین مقادیر EC رواناب برای انواع پوشش‌ها، ب) نمودار آزمون توکی

Figure 5 - The results of analysis for runoff electrical conductivity (EC) of different biocrusts; a) average runoff EC for different cover types, b) the Tukey HSD plot



الف)



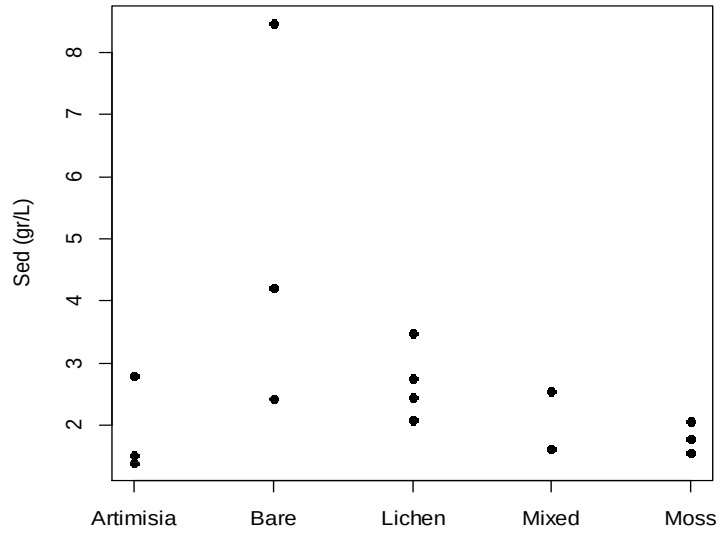
ب)

شکل ۶- نتایج تحلیل متغیر رنگ رواناب در انواع مختلف پوسته‌های زیستی، الف) میانگین مقادیر رنگ رواناب برای انواع پوشش‌ها، ب) نمودار آزمون توکی

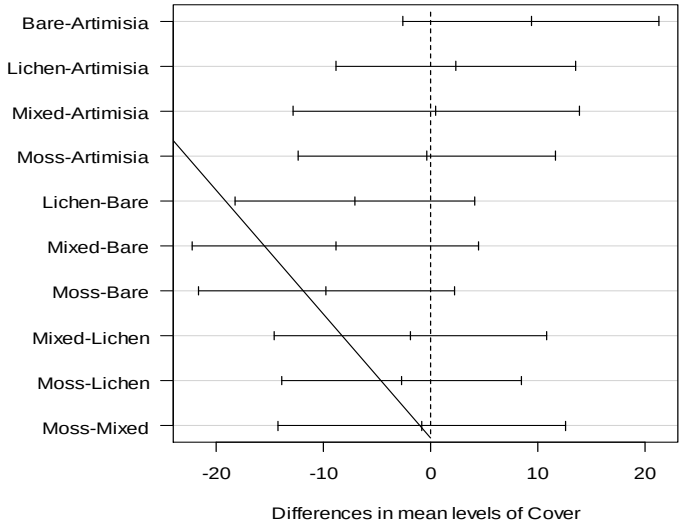
Figure 6- The results of analysis of runoff color for different biocrusts; a) average value of runoff color for different cover types, b) the Tukey HSD plot

شکل ۷- رنگ رواناب انواع مختلف تیمارها

Figure 7- The color of the runoff of different treatments



الف)



ب)

شکل ۸- نتایج تحلیل غلظت رسوب رواناب در انواع مختلف پوسته‌های زیستی، (الف) میانگین غلظت رسوب رواناب برای انواع پوشش‌ها، (ب) نمودار آزمون توکی

Figure 8 - The results of analysis for runoff sediment concentration of different biocrusts (a) Average sediment concentration for different cover types, (b) The Tukey HSD plot

جدول ۲- نتایج تحلیل‌های آماری متغیرهای کیفیت رواناب در پوشش‌های مختلف

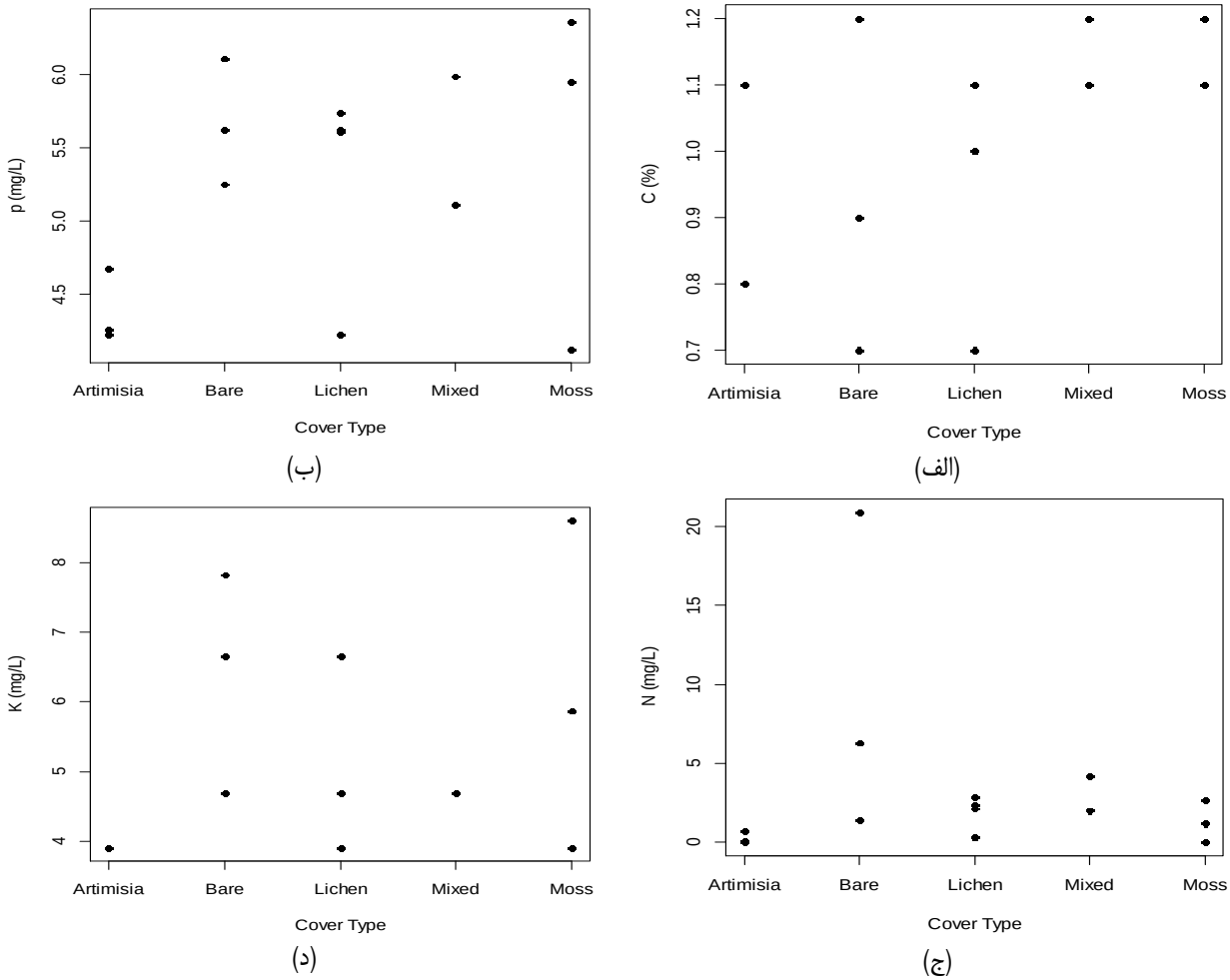
Table 2- The results of statistical analyses of runoff quality variables in different cover types

متغیر	نتیجه تحلیل واریانس (p-value) (۵ درصد)	نتیجه آزمون کروسکال-والیس (p-value) (۵ درصد)	نتیجه آزمون توکی (مقایسات زوجی)
EC	معنادار	معنادار	درمنه > ترکیب خزه و گلسنگ
TDS	معنادار	معنادار	درمنه > ترکیب خزه و گلسنگ
pH	معنادار	غیر معنادار	گلسنگ > درمنه
			خاک لخت > ترکیب خزه و گلسنگ
رنگ	معنادار	غیر معنادار	خاک لخت > گلسنگ
			خاک لخت > خزه
رسوب	غیر معنادار	غیر معنادار	خاک لخت > دیگر پوشش‌ها
کربن‌آلی	غیر معنادار	غیر معنادار	-
فسفر	غیر معنادار	غیر معنادار	-
نیترات	غیر معنادار	غیر معنادار	-
پتاسیم	غیر معنادار	غیر معنادار	-

نکتهٔ قابل توجه دیگر، اختلاف زیاد غلظت رسوب بین کرت‌های خاک لخت نسبت به یکدیگر است، به‌عنوان مثال، در تیمار خاک لخت، کم‌ترین مقدار غلظت رسوب ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر و بیش‌ترین مقدار آن حدود ۸ میلی‌گرم در لیتر است. علت این امر، وجود ریشه‌های گیاهان یک‌ساله در کرت‌های خاک لخت بود که در فرآیند پاشمان، کنش و انتقال رسوب با رواناب اثرگذار بوده و درصد آن در کرت‌های خاک لخت متفاوت بوده است. در واقع، در زمان عملیات شبیه‌سازی (فصل پاییز) خاک لخت بوده اما در فصل بهار، چنانچه در بازدیدهای مجدد میدانی از منطقه مشخص شد، پوششی از گیاهان یکساله در محل‌های شبیه‌سازی مربوط به کرت‌های خاک لخت وجود داشت.

علت اختلاف شدید غلظت رسوب در خاک لخت نسبت به سایر تیمارها، عدم وجود پوشش گیاهی مناسب و یا وجود تخریب است. علی‌رغم این، اختلاف میزان غلظت رسوب بین پوشش‌های مختلف از لحاظ آماری در سطح خطای پنج درصد معنادار نشد. اما همان‌طور که در شکل ۹ (ج) مشاهده می‌شود، اختلاف به حد معناداری بسیار نزدیک است. علت عدم اختلاف معنادار در مورد غلظت رسوب می‌تواند به حجم کم نمونه (تعداد کم داده‌ها) در تحلیل آماری مربوط باشد. به‌طور کلی، غلظت رسوب در پوشش‌های دارای پوسته‌های زیستی نسبت به پوشش‌های فاقد پوسته‌های زیستی تفاوت چشم‌گیری وجود داشت که با نتایج Kakeh et al. (2021) هم‌خوانی دارد.

طبق نتایج به‌دست آمده از آزمون پارامتریک تحلیل واریانس و معادل ناپارامتریک آن کروسکال والیس (جدول ۲) مشخص شد که از بین متغیرهای کیفیت رواناب مورد بررسی، مواردی نظیر EC، pH، TDS و رنگ در سطح پنج درصد اختلاف معناداری در پوشش‌های مختلف داشتند. نتایج آزمون توکی هم نشان داده که زمین لخت در اکثر مواقع بیش‌ترین اختلاف را با بقیهٔ پوشش‌ها داشته است که علت آن عدم پوشش حفاظتی مناسب خاک به‌علت عاری بودن زمین لخت از گیاهان و پوسته‌های زیستی خاک است. در نتیجه، خاک مقاومت خود را در برابر فرسایش آبی از دست داده و باعث انتقال بیش‌تر رسوب و املاح از سطح خاک توسط رواناب می‌شود.



شکل ۹- میانگین مقادیر متغیرهای کیفیت آب برای انواع پوشش‌ها؛ الف) کربن آلی، ب) فسفر، ج) نیترات و د) پتاسیم

Figure 9- Average values of water quality variables for all types of covers; a) organic carbon, b) phosphorus, c) nitrate and d) potassium

در مورد متغیرهای کربن آلی، فسفر، نیترات و پتاسیم، آزمون‌های آماری اختلافات معناداری بین پوشش‌های مختلف تشخیص ندادند امّا بر روی نمودارهای آماری (شکل ۹)، برخی اختلافات قابل توجه، مشهود است. برای مثال، غلظت فسفر مربوط به پوشش درمنه کم‌تر از سایر پوشش‌ها بوده که می‌تواند به این دلیل باشد که جابه‌جایی فسفر عمدتاً به شکل متصل به ذرات (و به میزان کم‌تری به شکل محلول) صورت می‌گیرد (Sims et al., 1998). در نتیجه، برای کرت‌های با پوشش درمنه که میزان رسوب و مواد معلق آن کم‌تر بوده، انتقال (خروج) فسفر از کرت هم کم‌تر بوده است. در مورد کربن آلی، مقادیر مربوط به پوشش خزه و ترکیب خزه و گلسنگ، بیش‌تر از پوشش‌های دیگر بوده که نشان از بالاتر بودن میزان مواد آلی در پوشش‌های مذکور دارد. میزان غلظت نیترات رواناب به‌دست آمده از شبیه‌سازی باران در پوشش درمنه اندکی کم‌تر از دیگر پوشش‌ها بوده و در خاک لخت خیلی بالاتر بوده و علت این امر می‌تواند تثبیت نیترات در پوسته‌های زیستی و درمنه‌زارها باشد.

دلیل معنادار نشدن اختلافات از نظر آماری می‌تواند به خاطر تغییرات (واریانس) زیاد مشاهدات و کم بودن تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به حالت ایده‌آل آماری باشد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که، حضور پوسته‌های زیستی بر متغیرهای کیفیت رواناب در اکثر تیمارها یا انواع مختلف پوشش‌ها تأثیر معنادار داشته و اختلاف قابل‌توجهی بین آن‌ها وجود دارد. پوسته‌های زیستی باعث اتصال ذرات خاک به هم می‌شود و یک پوشش چسبناک در سطح خاک می‌سازد که خاک را در برابر انواع فرسایش آبی و بادی مقاوم و حفاظت کرده و باعث تثبیت سطح خاک و حفظ کیفیت رواناب می‌شود. این عملکرد فرصت‌های زیادی را برای درک و مدیریت مناطق خشک می‌دهد. بنابراین لزوم توجه سازمان‌های دولتی مثل ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری، محیط‌زیست به تپه‌ماهورهای حاوی پوسته‌های زیستی پیرامون تالاب آجی‌گل ضروری است تا بیش از این لطمه‌ای به این منابع حیاتی وارد نشود. با توجه به این‌که نقشه‌ای جامع از پوسته‌های زیستی در منطقه وجود ندارد، اگر نقشه‌برداری از پوسته‌های زیستی در کل منطقه از روی تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی برای پهنه‌های انواع پوشش‌ها در نظر گرفته شود. آن‌گاه با کمک تلفیق نتایج این پژوهش با اطلاعات حاصل از نقشه‌برداری‌ها و تعمیم آن به کل منطقه، می‌توان برآورد کلی تأثیر پوسته‌های زیستی روی کیفیت رواناب و تالاب‌های پایین‌دست را انجام داد. پیشنهاد می‌شود که قرق و حفاظت اراضی دارای پوسته‌های زیستی به‌عنوان رویکرد زیستی برای جلوگیری از فرسایش آبی و بادی و هم‌چنین جلوگیری از اختلالات فیزیکی ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند تردد وسایل نقلیهٔ موتوری نظیر خودرو، موتور سیکلت، تراکتور و غیره برای حفظ خاک زیرین پوسته‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد با حمایت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. ادارهٔ کل محیط‌زیست استان گلستان و ایستگاه محیط‌بانی آلاگل واقع در شهرستان گنبد کاووس، امکانات اسکان در منطقهٔ مورد مطالعه را فراهم نمودند. لذا، نویسندگان مقاله نهایت تشکر و قدردانی را از آن‌ها دارند.

References

Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes An International Journal*, 20(15), 3159-3178. doi:10.1002/hyp.6325

Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, S., & Eldridge, D. (2001). *Biological soil crusts: ecology and management*. US Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center. Denver, Colorado, 110 pages.

Belnap, J., Weber, B., & Büdel, B. (2016). Biological soil crusts as an organizing principle in drylands. Pp. 3-13, In: *Ecological Studies*, 226, Springer-Verlag.

Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., & Domingo, F. (2014). The role of biological soil crusts in soil moisture dynamics in two semiarid ecosystems with contrasting soil textures. *Journal of Hydrology*, 489, 74-84. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.051

Chamizo, S., Cantón, Y., Miralles, I., & Domingo, F. (2012). Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 49, 96–105. doi:10.1016/j.soilbio.2012.02.017

Felde, V.J.M.N.L., Chamizo, S., Felix-Henningsen, P., & Drahorad, S.L. (2018). What stabilizes biological soil crusts in the Negev Desert?. *Plant and Soil*, 429(1), 9-18. doi:10.1007/s11104-017-3459-7

Guan, H., & Cao, R. (2019). Effects of biocrusts and rainfall characteristics on runoff generation in the Mu Us Desert, northwest China. *Hydrology Research*, 50(5), 1410-1423. doi:10.2166/nh.2019.046

Kakeh, J., Gorji, M., Mohammadi, M.H., Asadi, H., Khormali, F., Sohrabi, M., & Eldridge, D.J. (2021). Biocrust islands enhance infiltration,

and reduce runoff and sediment yield on a heavily salinized dryland soil. *Geoderma*, 404, 115329. doi:10.1016/j.geoderma.2021.115329

Kakeh, J., Gorji, M., Mohammadi, M.H., Asadi, H., Khormali, F., Sohrabi, M., & Cerd`a, A. (2020). Biological soil crusts determine soil properties and salt dynamics under arid climatic condition in Qara Qir, Iran. *Science of The Total Environment*, 732, 139–168. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139168

Niu, J., Yang, K., Tang, Z., & Wang, Y. (2017). Relationships between soil crust development and soil properties in the desert region of North China. *Sustainability*, 9(5), 725, 1–15. doi:10.3390/su9050725

Ouyang, Y., & Li, X. (2013). Recent research progress on soil microbial responses to drying–rewetting cycles. *Acta Ecologica Sinica*, 33(1), 1-6. doi:10.1016/j.chnaes.2012.12.001

Sims, J.T., Simard, R.R., & Joern, B.C. (1998). Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 277-293. doi:10.2134/jeq1998.00472425002700020006x

Stovall, M.S., Ganguli, A.C., Schallner, J.W., Faist, A.M., Yu, Q., & Pietrasiak, N. (2022). Can biological soil crusts be prominent landscape components in rangelands? A case study from New Mexico, USA. *Geoderma*, 410, 115658. doi:10.1016/j.geoderma.2021.115658

Williams, A., Buck, B., Soukup, D., & Merkler, D. (2010). Geomorphic controls of biological soil crust distribution, Mojave Desert (USA). In World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.

Xu, H., Zhang, Y., Shao, X., & Liu, N. (2022). Soil nitrogen and climate drive the positive effect of biological soil crusts on soil organic carbon sequestration in drylands: A Meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 803, 150030. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.150030