Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

# Increasing Soil Stability in Degraded Rangelands Using Humic Substances (Case Study of the Soil of Taghazi Sangelands in Zabol County)

**Atefe Fraee[1], Mahdieh Ebrahimi[*2], Ebrahim Shirmohammadi[3]**

1. MSc. Student of Watershed Management, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Corresponding author; Associate Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: maebrahimi2007@uoz.ac.ir
3. Assistant Prof., Department of Soil Sciences, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

**Article Info**

**Article type:**
Research Full Paper

**2025; Vol 19, Issue 2**

**Article history:**
Received: 27.07.2024
Revised: 20.06.2025
Accepted: 27.06.2025

**Keywords:**
Microbial respiration,
Fulvic acid,
Soil erosion,
Soil fertility,
Dry Rangelands.

## Abstract

**Background and objectives:** The rangelands of the Sistan region are highly susceptible to wind erosion due to low rainfall, low soil organic matter, sparse vegetation cover, and the persistent 120-day seasonal winds. Wind erosion in this area has resulted in numerous adverse effects, including reduced visibility leading to traffic accidents, negative impacts on human health, soil loss, and a decline in the productivity of agricultural lands. Therefore, strategies to enhance soil resistance to wind erosion are critical. This study aimed to evaluate the effect of humic substances on improving soil stability in degraded rangelands of Taghzi, Zabul.

**Methodology:** A factorial experiment was conducted using a completely randomized design with three replicates. The first factor was soil sensitivity to wind erosion, classified into three levels: low sensitivity (S1), medium sensitivity (S2), and high sensitivity (S3). The second factor was the application of humic substances in two levels: with humic substances (H1; a combination of humic acid and fulvic acid) and without humic substances (H0). Humic substances were applied once through irrigation; the quantity supplemented to each pot was calculated based on the soil content and mixed with 200 ml of water. Control treatments received only 200 ml of water. After three months, the following parameters were measured: soil pH, electrical conductivity, calcium carbonate (lime) percentage, organic matter content, total nitrogen percentage, soil microbial respiration, microbial population, soil stability (expressed as the weight percentage of soil aggregates retained on wet and dry sieves), and the mechanical resistance of wet soil. Data were tested for normality and homogeneity of variances prior to analysis using ANOVA in Statistix 10 software. Means were compared using the LSD test at a 5% significance level.

**Results:** Application of humic substances in highly sensitive soils (S3) resulted in the highest calcium carbonate content (37.17%), microbial respiration rate (0.14 mg $CO_2$ $g^{-1}$ soil $day^{-1}$), and nitrogen concentration (0.33%). Conversely, the lowest calcium carbonate level (19.50%) was found in low sensitivity soil (S1) treated with humic substances. Soils without humic application showed minimal microbial respiration (0.03 mg $CO_2$ $g^{-1}$ soil $day^{-1}$) across all sensitivity levels. Nitrogen content was lowest (0.03%) in medium sensitivity soils (S2) without humic substances. In terms of soil aggregate stability, the highest percentage of dry soil aggregates retained on the 11.2 mm sieve was recorded in highly sensitive soil treated with humic substances, whereas medium sensitivity soils exhibited the



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

greatest dry aggregate retention on the 2 mm sieve. For wet sieving, maximum aggregate retention in the 11.2 mm and 8 mm sieves was observed in highly and medium sensitive soils with humic treatment, respectively. Humic substances also led to the largest increase of wet aggregates in low sensitivity soils on the 4.75 mm sieve. The greatest retention of wet aggregates in the 1.8 mm sieve occurred in highly sensitive soils. Overall, soils without humic treatment exhibited the lowest wet aggregate stability. The mechanical resistance of wet soils increased significantly with humic application, especially in medium and low sensitivity soils. **Conclusion:** This study demonstrated that the application of humic substances significantly improved the physical and chemical properties of degraded rangeland soils, enhancing nitrogen content and microbial respiration which fosters a more active soil microbial community. Compared to chemical fertilizers, humic substances represent an accessible and environmentally sustainable soil amendment that can effectively increase soil stability, particularly in soils vulnerable to wind erosion. The cost of using humic substances is generally minimal relative to the extensive economic and environmental damages caused by wind erosion, such as reduced soil fertility, vegetation loss, increased restoration expenses, and ecological risks. However, region-specific economic analyses are recommended to optimize decision-making and promote this practice for sustainable rangeland management.

**Cite this article:** Fraee, A., M. Ebrahimi, Ebrahim Sh, 2025. Increasing soil stability in degraded rangelands using humic substances (case study of the soil of Taghazi rangelands in Zabol city). Journal of Rangeland, 19(2): 144-160.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7
Publisher: Iranian Society for Range Management

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

# افزایش پایداری خاک در مراتع تخریب‌یافته با استفاده از مواد هیومیکی (مطالعه موردی خاک مراتع طاغذی شهرستان زابل)

**عاطفه فرایی[۱]، مهدیه ابراهیمی*[۲]، ابراهیم شیرمحمدی[۳]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایان‌نامه: maebrahimi2007@uoz.ac.ir

۳. استادیار گروه خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل – پژوهشی

**۱۴۰۴؛ جلد ۱۹، شماره ۲**

**تاریخ دریافت** ۱۴۰۳/۰۵/۰۶
**تاریخ ویرایش:** ۱۴۰۴/۰۳/۳۰
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۶

**واژه‌های کلیدی:**
تنفس میکروبی،
اسید فولویک،
فرسایش خاک،
حاصل‌خیزی خاک،
مراتع خشک.

**چکیده**

**سابقه و هدف**: بارش اندک، ضعف ماده آلی خاک، فقر پوشش گیاهی و وجود بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، مراتع این منطقه را به شدت مستعد فرسایش بادی شدید کرده است. فرسایش بادی خسارات فراوانی را برای مردم این منطقه ایجاد کرده است که از جمله این خسارت‌ها می‌توان به کاهش دید و وقوع تصادفات جاده‌ای، کاهش سلامتی انسان، هدررفت خاک، کاهش پتانسیل اراضی کشاورزی و ... اشاره کرد. بنابراین بررسی راهکارهای افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی امری ضروری است. تحقیق حاضر به‌منظور مطالعه تأثیر مواد هیومیکی بر افزایش پایداری خاک در مراتع تخریب‌یافته طاغذی شهرستان زابل انجام شد.

**مواد و روش‌ها**: این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول نوع خاک در ۳ سطح: خاک با حساسیت کم به فرسایش بادی (S1)، حساسیت متوسط (S2) و حساسیت زیاد (S3) بود. فاکتور دوم مواد هیومیکی در ۲ سطح شامل: مواد هیومیکی (ترکیب اسید هیومیک + اسید فولویک: H1) و بدون مواد هیومیکی(H0) در نظر گرفته شد. مواد هیومیکی به صورت آبیاری در یک مرحله به خاک گلدان‌ها اضافه شدند. مقدار مواد هیومیکی مورد نیاز برای هر گلدان بر اساس محتوی خاک آن محاسبه و همراه با ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به هر واحد آزمایشی اضافه شد. همچنین در تیمار شاهد ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به خاک‌ها اضافه شد. پس از گذشت سه ماه تأثیر مواد هیومیکی بر روی مقدار اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد آهک، ماده آلی، درصد نیتروژن، تنفس میکروبی خاک، جمعیت میکروبی، پایداری خاک شامل درصد وزنی خاک‌دانه‌ها در الک مرطوب و الک خشک و مقاومت مکانیکی خاک مرطوب اندازه‌گیری شد. پس از تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار Statistix10 و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

**نتایج**: نتایج نشان داد که بیشترین مقدار آهک (۳۷/۱۷ درصد)، تنفس میکروبی (۰/۱۴ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) و نیتروژن (۰/۳۳ درصد) در کاربرد مواد هیومیکی در خاک با حساسیت زیاد اندازه‌گیری شد. در خاک با حساسیت کم کمترین مقدار آهک (۱۹/۵۰ درصد) در کاربرد مواد هیومیکی مشاهده شد. حداقل تنفس میکروبی (۰/۰۳ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) در تمامی خاک‌ها و بدون کاربرد مواد هیومیکی اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار نیتروژن (۰/۰۳ درصد) در خاک با حساسیت متوسط و بدون مواد هیومیکی اندازه‌گیری شد. بیشترین درصد خاکدانه‌های خشک به‌ترتیب در کاربرد مواد هیومیکی در الک ۱۱/۲ میلی‌متر در خاک با حساسیت زیاد و الک ۲ میلی‌متر در خاک با حساسیت متوسط



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

اندازه‌گیری شد. بیشترین خاکدانه مرطوب در الک ۱۱/۲و ۸ میلی‌متر مربوط به خاک با حساسیت زیاد و متوسط در کاربرد مواد هیومیکی بود. مواد هیومیکی باعث افزایش حداکثری خاکدانه‌های مرطوب خاک‌های با حساسیت کم در الک ۴/۷۵ میلی‌متری شد. بیشترین خاکدانه‌های مرطوب در الک ۱/۱۸ میلی‌متری مربوط به خاک‌های با حساسیت زیاد بود. به طور کلی کمترین مقدار خاکدانه‌های مرطوب در عدم کاربرد مواد هیومیکی مشاهده شد. کاربرد مواد هیومیکی به‌ترتیب باعث افزایش حداکثری مقاومت مکانیکی خاک‌های با حساسیت متوسط و کم شد.

**نتیجه‌گیری**: به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد مواد هیومیکی در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های تخریب یافته مرتع مورد تحقیق موثر بود. کاربرد ترکیبات هیومیکی در افزایش نیتروژن و تنفس میکروبی خاک و متعاقباً ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود خاک اثرات مثبتی داشتند. در مجموع، کاربرد مواد هیومیکی در مقایسه با راهکارهایی مانند استفاده از کودهای شیمیایی در خاک‌های حساس به تخریب و فرسایش بادی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، قابل دسترس و همچنین دوستدار محیط زیست می‌تواند راهکاری کاملاً پایدار در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و درنتیجه افزایش پایداری خاک باشد. هزینه استفاده از این مواد در مقایسه با خسارات ناشی از فرسایش (مانند کاهش حاصل‌خیزی خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی، افزایش هزینه‌های احیای مراتع و خطرات زیست‌محیطی)، در کشور اغلب بسیار ناچیز است و توجیه اقتصادی خواهد داشت. با این حال، برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر و توصیه این روش برای افزایش پایداری مراتع، انجام یک تحلیل اقتصادی با در نظر گرفتن شرایط هر منطقه ضروری است.

**استناد:** فرایی، ع.، م. ابراهیمی، ا. شیرمحمدی، ۱۴۰۴. افزایش پایداری خاک در مراتع تخریب‌یافته با استفاده از مواد هیومیکی (مطالعه موردی خاک مراتع طاغذی شهرستان زابل). مرتع، ۱۹(۲): ۱۴۴-۱۶۰.

DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7

**ناشر**: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

**مقدمه**

مراتع از جمله مهم‌ترین ثروت‌های طبیعی یک کشور و جزء اکوسیستم‌های ویژه‌ی کره زمین محسوب می‌شوند. همان‌گونه که فعالیت‌های عمرانی به‌عنوان شاخص‌های توسعه یک کشور به حساب می‌آیند، مراتع نیز به‌عنوان یکی از اصولی‌ترین شاخصه‌های توسعه به شمار می‌روند که از مهم‌ترین اهمیت آن‌ها می‌توان به حفاظت خاک اشاره نمود (۵). امروزه بهره‌برداری بی‌رویه از مراتع و مدیریت غیراصولی آن باعث کاهش پوشش گیاهی شده است که به دنبال آن مواد آلی خاک کاهش و فرسایش بادی خاک افزایش یافته است (۳۳). فرسایش بادی خاک یکی از مهم‌ترین معضلات زیست محیطی است که باعث کاهش حاصل‌خیزی خاک، کاهش عناصر غذایی خاک و ظرفیت نگه‌داری آب، کاهش جمعیت میکروبی خاک و به دنبال آن کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افزایش بیابان‌زایی می‌شود. که به دنبال آن وضع اقتصادی مردمی که از مراتع امرار معاش می‌کردند متزلزل می‌شود (۶). لذا باید برای افزایش پایداری خاک و کاهش فرسایش آن از راهکارهای مدیریتی مناسب و کارآمد استفاده نمود.

لازم به‌ذکر است که در زمینه افزایش پایداری خاک و بهبود شرایط آن به منظور کاهش فرسایش خاک در مناطق مختلف مدیریت‌های مختلفی انجام شده است که به‌طور مثال می‌توان به استفاده از کودهای شیمیایی اشاره نمود. اما استفاده بیش از حد از این کودها باعث افزایش اثرات منفی بر روی منابع طبیعی می‌شود (۳۰). درنتیجه با توجه به موارد ذکر شده باید از روش‌هایی استفاده نمود که علاوه بر کاهش اثرات منفی روی خاک و گیاه، سازگار با آن‌ها نیز باشد. یکی از این مدیریت‌ها می‌تواند کاربرد مواد هیومیکی جهت افزایش پایداری خاک و کاهش فرسایش خاک باشد. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از مواد هیومیکی می‌تواند به‌عنوان یک روش امیدوارکننده برای بهبود کیفیت خاک و کاهش فرسایش بادی خاک مورد توجه قرار گیرد (۱۲). بعضی از محققان برای افزایش پایداری خاک، افزایش غلظت بکارگیری این مواد را پیشنهاد می‌دهند (۱۳)؛ با این وجود گروهی دیگر معتقدند که کنترل فرسایش خاک به میزان مصرف مواد هیومیکی و بافت خاک وابسته است. به‌عنوان مثال ارثی و سکر (۲۰۲۴) گزارش کردند که استفاده از غلظت ۱ لیتر در هکتار در خاک لوم رسی شنی و غلظت‌های ۲ و ۴ لیتر در هکتار در خاک لوم رسی باعث کاهش بیش از ۵۰ درصدی فرسایش بادی این خاک‌ها شد (۱۲).

امروزه استفاده از مواد هیومیکی به‌دلیل بهبود کیفیت خاک و تحریک رشد گیاهان، افزایش یافته است (۲۵). به این طریق که مواد هیومیکی از طریق افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات ریز خاک، باعث بهبود ساختمان خاک و ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها می‌گردند و بهبود خاک هم افزایش رشد گیاه را درپی دارد. به‌طور کلی مواد هیومیکی دارای دو نوع اسید آلی مهم به نام اسید هیومیک و اسید فولویک می‌باشند (۴۰ و ۱۷). اسیدهیومیک ترکیب پلیمری آلی است که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، لیگنین، پیت و غیره به وجود می‌آید (۱). هم‌چنین اسید هیومیک به‌عنوان یک دسته از مواد طبیعی، با منشأ زیستی و ناهمگن است که معمولاً به رنگ زرد تا سیاه با وزن مولکولی زیاد دیده می‌شود و در برابر حرارت مقاوم است. از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به افزایش مدت زمان نگهداری رطوبت در خاک، کاهش تبخیر آب از خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک و هم‌چنین کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند آهن، منیزیم، سدیم، پتاسیم، روی، مس، کلسیم و غیره برای غلبه بر کمبود عناصر غذایی گیاه اشاره کرد. علاوه‌براین اسید هیومیک با اصلاح دانه‌بندی فضای موجود در خاک تخلخل خاک را افزایش می‌دهد و با مولکول‌های آب، پیوندی تشکیل می‌دهد که تا حدی مانع تبخیر آب می‌شود (۸). اما اسید فولویک مجموعه‌ای از اسیدهای ارگانیک آروماتیک و زنجیره‌های آلیفاتیک ضعیف هستند که قابلیت این را دارند که در کلیه pHهای اسیدی، بازی و خنثی حل گردند و شکل و ترکیب آن نیز کاملاً تغییرپذیر است. قدرت تبادل یونی اسید فولویک بیش از دو برابر اسید هیومیک است که علت آن این است که گروه کربوکسیل در اسید فولویک بیش‌تر از اسید هیومیک است (۳۷). هم‌چنین اسید فولویک با وزن مولکولی کم‌تر از ۳۰۰۰۰ دالتون به‌ترتیب باعث تشکیل کمپلکس‌های پایدار و نامحلول و کمپلکس‌های محلول با عناصر میکرو می‌گردد و با در اختیار قرار دادن عناصر ضروری سبب افزایش جذب عناصر و باروری خاک می‌شود. به‌طور کلی اسید هیومیک و



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

اسید فولویک از طریق در اختیار قرار دادن عناصر ضروری نه تنها برای محیط زیست مضر نیستند بلکه باعث افزایش جذب عناصر غذایی و حاصل‌خیزی خاک نیز می‌شوند (۳۷). در این خصوص مطالعات فورتن و همکاران (۱۹۹۰) در مورد اثرات اسید فولویک و اسید هیومیک بر روی خاک نشان داد که استفاده هم‌زمان از اسید فولویک و اسید هیومیک باعث افزایش قطر و تخلخل خاکدانه‌ها می‌شود (۱۳). هم چنین اسنجو و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه تأثیر مواد هیومیکی روی عملکرد خاک و رشد گیاه به این نتیجه رسیدند که مواد هیومیکی باعث افزایش جذب بیش‌تر عناصر غذایی خاک مانند نیتروژن و فسفر می‌شود که این کار باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (۹). به‌طور کلی باتوجه به این که حرکت و انتقال ذرات خاک توسط نیروی باد باعث تخریب مراتع و بیابان‌زایی، کاهش مواد مغذی و مواد آلی خاک و درنهایت کاهش پایداری خاک می‌شود (۷). برای رفع این مشکلات لازم است که تأثیر مواد هیومیکی در افزایش پایداری خاک‌های حساس به فرسایش بادی مورد بررسی قرار گیرد. هدف مطالعه حاضر تعیین اثر مواد هیومیکی در افزایش پایداری خاک در مراتع حساس به فرسایش بادی در منطقه سیستان بود تا مشخص شود آیا استفاده از مواد هیومیکی در افزایش پایداری خاک تاثیر دارد؟ در این مطالعه فرض شد که مواد هیومیکی در افزایش پایداری خاک‌های حساس به فرسایش بادی تأثیر معنی‌داری دارند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر روی نمونه‌های خاک تهیه شده از مراتع تخریب یافته طاغذی که در دهستان ادیمی و در بخش مرکزی شهرستان زابل قرار دارد انجام شد (شکل ۱). پوشش گیاهی کم و از نوع گونه‌های شورپسند با تیپ غالب گز شاهی(*Tamarix aphylla*)، متوسط بارندگی و تبخیر به ترتیب کمتر از ۶۵ و ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال و وجود گردوغبار به هنگام وقوع طوفان از خصوصیات حاکم در این منطقه است. موقعیت جغرافیایی این مرتع ۳۱ درجه و ۳ دقیقه و ۵۸ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۲۸ دقیقه و ۱۲ ثانیه طول شرقی است. آب و هوای مرتع مورد مطالعه نیز از نوع بیابانی و گرم خشک با کمینه دما منفی ۱۲ درجه سانتی‌گراد و بیشینه دما ۵۳ درجه سانتی‌گراد است (۱۴).

### آماده‌سازی نمونه‌های خاک

در محدوده مورد مطالعه سه نوع خاک با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (بافت، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته و ... ) متفاوت و فرسایش‌پذیر انتخاب و از هر نوع خاک نمونه ۱۰ کیلوگرمی از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) برداشت شد (شکل ۲). قبل از انجام نمونه‌برداری ابتدا منطقه از نظر درجات بیابان‌زایی تقسیم‌بندی شد. معیارهای زیادی برای ارزیابی میزان بیابان‌زایی وجود دارد. در این مطالعه با توجه به وضعیت پوشش خاک سطحی و وضعیت خاک سه درجه بیابان‌زایی شامل سبک (Light desertification)، متوسط (Moderate desertification) و شدید (Sever desertification) در نظر گرفته شد. مرحله بیابان‌زایی سبک (LD) با تعیین مقدار ذرات شن تثبیت شده مشخص گردید. مقدار شن‌های متحرک کمتر از ۱تا ۲ درصد سطح خاک را شامل شده و پوشش گیاهی حدود ۵۰ تا۷۰ درصد بود. مرحله بیابان‌زایی متوسط (MD) با ماسه‌های نیمه ثابت مشخص شد و ماسه متحرک تقریباً ۵ تا ۲۰ درصد مساحت مرتع را اشغال می‌نمود. پوشش گیاهی در این مرحله حدود۳۰ تا ۵۰ درصد درنظر گرفته شد. مرحله بیابان‌زایی شدید (SD) با تپه‌های شنی نیمه متحرک مشخص شد. در این درجه از بیابان‌زایی ماسه‌های متحرک ۲۰ تا ۵۰ درصد از مساحت مرتع را شامل شدند و پوشش گیاهی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد درنظر گرفته شد (۲۹). بخش فرسایش‌پذیر بادی (EF) نیز برای هر خاک با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد.

رابطه (۱)

$$EF = (W<0.84 / TW) \times 100$$

که در آن EF (Erodible Fraction) بخش فرسایش‌پذیری بادی خاک، W<0.84 (W= Weight) وزن خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلیمتر پس از ۵ دقیقه شیک کردن با سرعت متوسط و TW (Total Weight ) وزن کل نمونه خاک (۲۰۰ گرم) بود (۲۷). بخش فرسایش‌پذیر بادی کمتر از ۴۰ درصد در کلاس حساسیت کم، بین ۵۰-۴۰ درصد در کلاس حساسیت متوسط و بیش از ۵۰ درصد، خاک در کلاس حساسیت زیاد به فرسایش بادی قرار گرفت (۲۲ و ۳۶).



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها شامل: بافت خاک با روش هیدرومتری (۱۵)، درصد آهک با روش تیتراسیون (۱۸)، اسیدیته از روش گل اشباع با دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) بوسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در عصاره اشباع، ماده آلی خاک به روش اکسیداسیون با بی کرومات پتاسیم و سپس تیتره کردن با فرو آمونیوم سولفات اندازه‌گیری شد (۲۷). ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده نیز با استفاده از روش وزنی تعیین گردید (۲۰).




**شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه**




**شکل ۲: مناطق برداشت نمونه‌های خاک فرسایش‌یافته ۱: خاک با حساسیت کم ۲: خاک با حساسیت متوسط ۳: خاک با حساسیت زیاد به فرسایش) و گلدان‌ها بعد از اعمال تیمار**



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

**روش اجرای طرح**

به‌منظور مطالعه تاثیر مواد هیومیکی در افزایش پایداری خاک، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل (دو فاکتور) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار مجموعاً در ۱۸ واحد آزمایشی انجام شد. فاکتور اول نوع خاک در ۳ سطح شامل: S1: خاک لوم رسی با ماده آلی ۰/۲۳ و حساسیت کم به فرسایش بادی، S2: خاک لوم شنی با ماده آلی ۱/۳۸ و حساسیت متوسط و S3: خاک لوم شنی با ماده آلی ۰/۵۴ و حساسیت زیاد به فرسایش بادی؛ فاکتور دوم تیمارهای مواد هیومیکی در ۲ سطح شامل: ۱- H1: مواد هیومیکی (ترکیب اسید هیومیک و اسید فولویک خالص) و ۲- H0: شاهد (عدم استفاده از مواد هیومیکی) اعمال شد.

**نحوه تلقیح مواد هیومیکی به خاک**

در تیمار مواد هیومیکی (H1) مقدار مواد هیومیکی برای هر یک کیلو خاک، ۰/۰۷۷ گرم محاسبه شد که همراه با ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به هر واحد آزمایشی اضافه شد. هم‌چنین در تیمار شاهد (H0) نیز ۲۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد. لازم به ذکر است که همزمان با اعمال تیمارها، رطوبت گلدان‌ها نیز با آب در حد رطوبت ظرفیت زراعی یا FC (Field Capacity) تنظیم گردید. این آزمایش سه ماه به طول انجامید. در طول آزمایش، رطوبت همه گلدان‌ها به صورت وزنی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ درصد FC حفظ شد و هر هفته یک‌بار مکان واحدهای آزمایشی به‌صورت تصادفی جابه‌جا شد (۲۹). در نهایت به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای اعمال شده بر پایداری خاک علاوه بر انجام آزمایش‌های معمول خاکشناسی ذکر شده، صفات پایداری خاکدانه‌ها شامل الک خشک یا DS (Dry Sieve) (درصد وزنی خاکدانه‌های خشک روی الک ۱۱/۲، ۸، ۴/۷۵، ۲، ۱/۱۸، ۰/۶ و ۰/۲۵ میلی‌متر) و الک مرطوب یا WS (Wet Sieve) (درصد وزنی خاکدانه‌های مرطوب روی الک‌های ذکر شده) (۴۱)، تنفس میکروبی به روش تیتراسیون با اسیدکلریدریک ۰/۱ درصد (۲)، مقاومت مکانیکی خاک مرطوب یا WP (Wet penetration) در مقابل نفوذ توسط دستگاه پنترومتر مدل EL24-0552 ساخت آمریکا (۲۴) و درنهایت تعیین جمعیت میکروبی یا MP (Microbial population) با استفاده از پخش سطحی در پلیت (Spread plate) (۱۱) انجام شد.

**تجزیه و تحلیل داده‌ها**

پس از بررسی وجود داده‌های پرت و تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) و همچنین همگنی واریانس‌ها (آزمون لوون) (۱۰)، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix10 و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

**نتایج**

**تأثیر مواد هیومیکی بر اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و درصد آهک**

آنالیز واریانس داده‌های اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی و درصد آهک (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی خاک بر تمامی خصوصیات مورد مطالعه تأثیر معنی‌دار داشت ($p<0.01$). در حالی‌که نتایج اثرات اصلی تیمارهای مورد مطالعه و برهمکنش متقابل خاک و تیمارهای مورد بررسی این سه ویژگی خاک تنها بر درصد آهک معنی‌دار بود ($p<0.01$).

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی خاک (جدول ۲) نشان داد که بیشترین pH (۹/۵۳) مربوط به خاک S2 بود. بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی (۴۲/۰۵ دسی‌زیمنس برمتر) در خاک S3 مشاهده شد. بیشترین درصد آهک (۳۲/۲۰ ٪) در خاک S1 اندازه‌گیری شد. کمترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی (۱۶/۸۳ دسی‌زیمنس برمتر) در خاک S1 اندازه‌گیری شد و کمترین مقدار آهک (۲۷/۷۰ ٪) و pH (۷/۷۸) در خاک S3 مشاهده شد.

مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی تیمارها (جدول ۲) نشان داد که بیشترین میزان درصد آهک (۳۳/۳۹ ٪) مربوط به تیمار H1 و کمترین مقدار آن (۲۰/۳۳ ٪) مربوط به تیمار H0 بود. بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی (۳۳/۳۷ دسی‌زیمنس برمتر) در تیمار H0 و کمترین میزان آن (۳۱/۰۳ دسی‌زیمنس برمتر) در تیمار H1 مشاهده شد. ($p<0.01$). مقادیر اسیدیته تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت ($p>0.01$). مقایسه میانگین برهمکنش متقابل تیمارها و خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۳) نشان داد که بیشترین مقدار آهک (۳۷/۱۷ ٪) در تیمار S3H1 و کمترین مقدار آن (۱۹/۵۰ درصد) در تیمار S1H1 اندازه‌گیری شد.



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی (۴۴/۳۷ دسی‌زیمنس برمتر) در تیمار S3H0 و کمترین میزان آن (۱۲/۸۱ دسی‌زیمنس برمتر) در تیمار S1H1 مشاهده شد. تیمارهای S2H1 و S3H1 نیز به‌ترتیب بیشترین (۹/۷۰) و کمترین (۷/۶۶) مقدار pH را نشان دادند.

**جدول ۱: تجزیه واریانس اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد آهک، تنفس میکروبی، نیتروژن، مقاومت مکانیکی خاک مرطوب(WP)و جمعیت میکروبی خاک (MP)**

| | | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **منابع تغییر** | درجه آزادی | اسیدیته | قابلیت هدایت الکتریکی | درصد آهک | تنفس میکروبی | نیتروژن | WP | MP |
| **خاک** | ۲ | ۱۱/۶۵$^{**}$ | ۰/۳۵$^{**}$ | ۶۵۵/۱۰$^{**}$ | ۰$^{ns}$ | ۰/۰۵$^{**}$ | ۲۵۳۵/۴$^{**}$ | ۳/۱۰$^{**}$ |
| **تیمار** | ۱ | ۰/۰۹$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۱۱۲۱/۱۶$^{**}$ | ۰$^{**}$ | ۰/۰۶$^{**}$ | ۳۰۰۰۸/۹$^{**}$ | ۰/۲۴$^{**}$ |
| **خاک×تیمار** | ۲ | ۰/۰۶$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۱۶۸۱/۱۰$^{**}$ | ۰$^{**}$ | ۰/۰۱$^{**}$ | ۳۲۱۲/۹$^{**}$ | ۱/۶۲$^{**}$ |
| **خطا** | ۱۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۲ | ۲۹/۱۲ | ۰ | ۰ | ۱/۱ | ۰/۰۲ |
| **ضریب تغییرات (٪)** | | ۲/۹۹ | ۹/۸۲ | ۱/۷۱ | ۰/۰۶ | ۱/۴۰ | ۰/۴۳ | ۲/۹۳ |

$^{ns}$و $^{**}$ به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

**جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات اصلی اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی و درصد آهک**

| | تیمار | اسیدیته | قابلیت هدایت الکتریکی ($dSm^{-1}$) | آهک (٪) |
|---|---|---|---|---|
| | S1 | ۸/۴۷±۰/۰۸$^{b}$ | ۱۶/۸۳±۲/۷۷$^{c}$ | ۳۲/۲۰±۲/۱۶$^{a}$ |
| | S2 | ۹/۰±۵۳/۰۳$^{a}$ | ۳۰/۶۲±۳/۶۴$^{b}$ | ۳۰/۴۳±۱/۷۶$^{b}$ |
| اثرات اصلی | S3 | ۷/۰±۷۸/۰۸$^{c}$ | ۴۲/۰۵±۳/۳۹$^{a}$ | ۲۷/۸۰±۱/۲۷$^{c}$ |
| | H1 | ۸/۶۱±۰/۳۰$^{a}$ | ۳۱/۰۳±۵/۹۵$^{a}$ | ۳۳/۳۹±۱/۷۳$^{b}$ |
| | H0 | ۸/۷۱±۰/۲۵$^{a}$ | ۳۳/۳۷±۵/۴۹$^{a}$ | ۲۰/۳۳±۰/۳۳$^{e}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

**جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی و درصد آهک**

| | تیمار | اسیدیته | قابلیت هدایت الکتریکی ($dSm^{-1}$) | آهک (٪) |
|---|---|---|---|---|
| | S1H1 | ۸/۴۶±۰/۱۶$^{b}$ | ۱۲/۸۱±۰/۳۶$^{cd}$ | ۱۹/۵۰±۰/۲۹$^{c}$ |
| | S1H0 | ۸/۶۵±۰/۱۰$^{b}$ | ۲۰/۲۶±۲/۲۹$^{bcd}$ | ۳۶/۵۰±۰/۲۹$^{a}$ |
| اثرات متقابل | S2H1 | ۹/۷۰±۰/۰۵$^{a}$ | ۳۹/۹۳±۹/۴۷$^{ab}$ | ۲۶/۵۰±۰/۲۹$^{b}$ |
| | S2H0 | ۹/۵۹±۰/۰۳$^{a}$ | ۳۵/۱۷±۱۳/۲۸$^{bc}$ | ۲۰±۰/۲۹$^{c}$ |
| | S3H1 | ۷/۶۶±۰/۰۹$^{d}$ | ۴۰/۳۳±۹/۳۰$^{ab}$ | ۳۷/۱۷±۰/۴۵$^{a}$ |
| | S3H0 | ۷/۸۹±۰/۰۶$^{d}$ | ۴۴/۶۷±۵/۳۷$^{ab}$ | ۲۱/۵۰±۰/۲۹$^{d}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

**تاثیر مواد هیومیکی بر درصد نیتروژن و تنفس میکروبی**

آنالیز واریانس داده‌های درصد نیتروژن (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی خاک تنها بر درصد نیتروژن تأثیر معنی‌دار داشت ($p<0.01$). در حالی‌که نتایج اثرات اصلی تیمارها و برهمکنش متقابل خاک و تیمارهای مورد بررسی بر هر دو خصوصیت مورد مطالعه تأثیر معنی‌دار داشت ($p<0.01$).

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی خاک (جدول ۴) نشان داد که بیشترین تنفس میکروبی (۰/۰۹ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) مربوط به خاک S2 بود. بیشترین میزان نیتروژن (۰/۲۸ درصد) در خاک S3 اندازه‌گیری شد. کمترین میزان تنفس میکروبی (۰/۰۷ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) و نیتروژن (۰/۱۷ درصد) نیز مربوط به خاک S1 بود.



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی تیمارها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین میزان تنفس میکروبی (۰/۱۳ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) و نیتروژن (۰/۲۴ درصد) مربوط به تیمار H1 بود و کمترین تنفس میکروبی (۰/۰۳ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) و نیتروژن (۰/۰۷ درصد) نیز مربوط به تیمار شاهد (H0) بود.

**جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات اصلی تنفس میکروبی و درصد نیتروژن**

| | تیمار | تنفس میکروبی ($mgCO_2/gSoil.day$) | نیتروژن (٪) |
|---|---|---|---|
| اثرات اصلی | S1 | ۰/۰۷±۰/۰۱$^{b}$ | ۰/۱۷±۰/۰۱$^{c}$ |
| | S2 | ۰/۰۹±۰/۰۱$^{a}$ | ۰/۱۸±۰/۰۳$^{b}$ |
| | S3 | ۰/۰۸±۰/۰۱$^{ab}$ | ۰/۲۸±۰/۰۳$^{a}$ |
| | H1 | ۰/۱۳±۰/۰۱$^{a}$ | ۰/۲۴±۰/۰۲$^{c}$ |
| | H0 | ۰/۰۳±۰$^{c}$ | ۰/۰۷±۰/۰۱$^{d}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

**جدول ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل تنفس میکروبی و درصد نیتروژن**

| | تیمار | تنفس میکروبی ($mgCO_2/gSoil.day$) | نیتروژن (٪) |
|---|---|---|---|
| اثرات متقابل | S1H1 | ۰/۱۱±۰/۰۲$^{bcd}$ | ۰/۲۴±۰$^{b}$ |
| | S1H0 | ۰/۰۳±۰$^{e}$ | ۰/۰۹±۰$^{d}$ |
| | S2H1 | ۰/۱۳±۰$^{abc}$ | ۰/۱۶±۰$^{c}$ |
| | S2H0 | ۰/۰۳±۰$^{e}$ | ۰/۰۳±۰$^{e}$ |
| | S3H1 | ۰/۱۴±۰$^{ab}$ | ۰/۳۳±۰$^{a}$ |
| | S3H0 | ۰/۰۳±۰/۰۱$^{e}$ | ۰/۱۰±۰$^{c}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

مقایسه میانگین برهمکنش متقابل تیمارها و خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۵) نشان داد که حداکثر مقدار تنفس میکروبی (۰/۱۴ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) مربوط به تیمار S3H1 بود و حداقل مقدار تنفس میکروبی (۰/۰۳ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک در روز) در تیمار S1H0، S2H0 و S3H0 اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار نیتروژن (۰/۳۳ درصد) مربوط به تیمار S3H1 بود و کمترین مقدار آن (۰/۰۳ درصد) در تیمار S2H0 اندازه‌گیری شد.

**تأثیر مواد هیومیکی بر مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (WP) در برابر نفوذ و جمعیت میکروبی (MP)**

آنالیز واریانس داده‌های مقاومت مکانیکی خاک مرطوب و جمعیت میکروبی خاک (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی خاک، اثرات اصلی تیمارها و هم‌چنین اثرات متقابل خاک و تیمارهای مورد مطالعه بر هر دو خصوصیت مورد مطالعه تأثیر معنی‌دار داشت ($p<0.01$). نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی خاک (جدول ۶) نشان داد که بیشترین مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (۲۶/۱۶۷ میلی‌متر) و کمترین جمعیت میکروبی (۱۸۵ CFU/g) مربوط به خاک S2 بود. بیشترین جمعیت میکروبی (۸۱۳ CFU/g) و کمترین مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (۲۳/۵۷۳ میلی‌متر) نیز در خاک S3 اندازه‌گیری شد.



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

**جدول۶: مقایسه میانگین اثرات اصلی میزان مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (WP) در برابر نفوذ و جمعیت میکروبی (MP)**

| | تیمار | WP (mm) | MP (cfu/g) |
|---|---|---|---|
| اثرات اصلی | S1 | ۲۴/۷۰۷±۸/۹۷$^{b}$ | ۲۵۴±۷۹$^{c}$ |
| | S2 | ۲۶/۱۶۷±۱۸/۸۴$^{a}$ | ۱۸۵±۴۵$^{d}$ |
| | S3 | ۲۳/۵۷۳±۱۶/۰۹$^{c}$ | ۸۱۴±۱۱$^{a}$ |
| | H1 | ۲۹/۲۳۳±۱۶/۸۱$^{a}$ | ۳۴۰±۱۲$^{bc}$ |
| | H0 | ۱۵/۱۴۴±۹/۳۹$^{d}$ | ۳۶۵±۹۴$^{b}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

**جدول۷: مقایسه میانگین اثرات متقابل میزان مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (WP) در برابر نفوذ و جمعیت میکروبی (MP)**

| | تیمار | WP (mm) | MP (cfu/g) |
|---|---|---|---|
| اثرات متقابل | S1H1 | ۲۷/۲۰۰±۰/۵۸$^{b}$ | ۸۱۴±۳۲$^{b}$ |
| | S1H0 | ۱۸/۴۰۰±۰/۵۸$^{d}$ | ۸۱۴±۳۲$^{b}$ |
| | S2H1 | ۳۵/۸۰۰±۰/۵۸$^{a}$ | ۱۱۲±۳۲$^{d}$ |
| | S2H0 | ۱۵/۱۳۳±۰/۸۹$^{e}$ | ۱۷۶±۳۲$^{c}$ |
| | S3H1 | ۲۴/۷۰۰±۰/۵۸$^{c}$ | ۹۴۰±۳۲$^{a}$ |
| | S3H0 | ۱۱/۹۰۰±۰/۵۸$^{f}$ | ۷۳۶±۳۲$^{b}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی تیمارها (جدول ۶) نشان داد که تیمار H1 و H0 به‌ترتیب بیشترین مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (۲۹/۲۳۳ میلی‌متر) و جمعیت میکروبی (۳۶۵ CFU/g) را دارا بودند. کمترین مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (۱۵/۱۴۴ میلی‌متر) در تیمار شاهد (H0) اندازه‌گیری شد. در حالی که کمترین جمعیت میکروبی (۳۴۰ CFU/g) در تیمار H1 مشاهده شد. مقایسه میانگین برهمکنش متقابل تیمارها و خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۷) نشان داد که بیشترین مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (۳۵/۸۰۰ میلی‌متر) و جمعیت میکروبی (CFU/g ۹۴۰) به‌ترتیب در تیمار S2H1 و S3H1 اندازه‌گیری شد. در حالی‌که کمترین مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (۱۱/۹۰۰ میلی‌متر) و جمعیت میکروبی (۱۱۲ CFU/g) به ترتیب در تیمار S3H0 و S2H1 مشاهده گردید.

**درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک خشک (DS)**

آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۸) نشان داد که اثرات اصلی درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱/۱۸ و ۰/۲۵ میلی‌متر تاثیر معنی‌دار داشت ($p<0.05$). نتایج اثرات اصلی تیمارهای مورد مطالعه بر هیچ کدام از خصوصیات مورد مطالعه تاثیر معنی‌دار نداشت ($p>0.05$). برهمکنش متقابل خاک و تیمارهای مورد مطالعه تنها بر روی درصد وزنی خاکدانه‌های خشک روی الک ۱۱/۲، ۸ و ۲ میلی‌متر تاثیر معنی‌دار داشت ($p<0.05$).

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی خاک (جدول ۹) نشان داد که بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱/۱۸ (۸/۶۷ درصد)، ۰/۶ (۹/۳۳ درصد) و ۰/۲۵ (۸/۳۳ درصد) میلی‌متر به‌ترتیب مربوط به خاک S1، S2 و S3 بودند. در حالی‌که کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱/۱۸ میلی‌متر (۵/۶۷ درصد) در خاک S2 و کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۶ میلی‌متر (۹/۳۳ ٪) و ۰/۲۵میلی‌متر (۶/۱۳ درصد) در خاک S1 اندازه‌گیری شد. اما مقادیر درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲، ۸، ۴/۷۵ و ۲ میلی‌متر تاثیر معنی‌داری نداشت ($p>0.05$). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای مورد مطالعه (جدول ۹) نشان داد که هیچ کدام از خصوصیات مورد مطالعه تاثیر معنی‌دار نداشت ($p>0.05$).

مقایسه میانگین برهمکنش متقابل تیمارها و خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۱۰) نشان داد که بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲ میلی‌متر (۴۶/۶۷ درصد) در تیمار S3H1 بود. درحالی‌که کمترین مقدار آن (۳۵ درصد) در تیمار S2H1 بود. بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ میلی‌متر (۱۰ درصد) در تیمار S3H0 بود. در حالی‌که کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ میلی‌متر (۵ درصد) در تیمارهای S1H0 و S2H1 اندازه‌گیری شد. تیمارهای S1H0 و S2H1 بیشترین (۱۱/۶۷ درصد) مقدار ۴/۷۵ میلی‌متر را نشان دادند.



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

درحالی‌که تیمارهای S1H1، S2H0، و S3H1 کمترین (۸/۳۳ درصد) مقدار ۴/۷۵ میلی‌متر را نشان دادند. بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۲ میلی‌متر (۱۶/۶۷ درصد) مربوط به تیمار S2H1 بود. در حالی‌که کمترین (۸/۳۳ درصد) مقدار آن مربوط به تیمار S3H1 بود. حداکثر درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱/۱۸ میلی‌متر (۱۰ درصد) در تیمار S1H1 مشاهده شد. در حالی‌که حداقل درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱/۱۸ میلی‌متر (۵ درصد) در تیمارهای S2H1، S2H0، S3H1 و S3H0 مشاهده گردید. تیمار S1H0 و S2H0 بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۶ میلی‌متر (۱۱/۶۷ درصد) را دارا بود. در حالی‌که تیمار S1H1 و S3H0 کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۶ میلی‌متر (۶/۶۷ درصد) را دارا بود. بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر (۸/۳۳ درصد) در تیمار S1H1، S2H1، S3H و S3H0 مشاهده شد. در حالی‌که کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر (۵ درصد) در تیمار S1H0 مشاهده گردید.

**جدول ۸: تجزیه واریانس درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک خشک (DS)**

| | | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییر | درجه آزادی | DS11/2 | DS8 | DS4/75 | DS2 | DS1/18 | DS0/6 | DS0/25 |
| خاک | ۲ | ۰$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ | ۰/۰۲$^{*}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{*}$ |
| تیمار | ۱ | ۰$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ |
| خاک×تیمار | ۲ | ۰/۰۱$^{*}$ | ۰/۰۱$^{*}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{*}$ | ۰$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰$^{ns}$ |
| خطا | ۱۲ | ۰ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۳/۴۰ | ۴/۹۹ | ۵/۵۵ | ۵/۱۳ | ۴/۹۱ | ۶/۴۰ | ۴/۸۴ |

$^{ns}$ و $^{*}$ به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

**جدول ۹: مقایسه میانگین اثرات اصلی درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک خشک (DS)**

| | تیمار | DS11/2 (mm) | DS8 (mm) | DS4/75 (mm) | DS2 (mm) | DS1/18 (mm) | DS0/6 (mm) | DS0/25 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1 | ۴۰/۶۷±۱/۲۸$^{a}$ | ۷/۶۶±۰/۸۳$^{a}$ | ۱۱/۲۰±۰/۹۶$^{a}$ | ۱۳/۳۳±۱/۰۵$^{a}$ | ۸/۶۷±۰/۷۷$^{a}$ | ۷±۰/۸۲$^{a}$ | ۶/۱۳±۰/۵۳$^{b}$ |
| | S2 | ۴۱±۲/۰۸$^{a}$ | ۷/۳۳±۰/۸۳$^{a}$ | ۱۰/۳۳±۰/۹۱$^{a}$ | ۱۳±۱/۰۷$^{a}$ | ۵/۶۷±۰/۴۵$^{b}$ | ۹/۳۳±۱/۱۸$^{a}$ | ۶/۶۷±۰/۶۴$^{ab}$ |
| اثرات اصلی | S3 | ۴۱±۲/۲۵$^{a}$ | ۷/۳۳±۰/۶۷$^{a}$ | ۱۰/۳۳±۰/۷۷$^{a}$ | ۱۲±۰/۹۵$^{a}$ | ۶/۳۳±۰/۵۹$^{b}$ | ۷/۶۷±۰/۸۳$^{a}$ | ۸/۳۳±۰/۶۳$^{a}$ |
| | H1 | ۴۱/۶۷±۲/۰۴$^{a}$ | ۶/۱۱±۰/۷۳$^{a}$ | ۹/۴۴±۱$^{a}$ | ۱۲/۲۲±۱/۴۷$^{a}$ | ۶/۶۷±۱/۱۸$^{a}$ | ۸/۸۹±۱/۱۱$^{a}$ | ۸/۳۳±۰/۸۳$^{a}$ |
| | H0 | ۴۰/۵۶±۲/۲۷$^{a}$ | ۷/۷۸±۰/۸۸$^{a}$ | ۱۰±۰/۸۳$^{a}$ | ۱۲/۷۸±۰/۸۸$^{a}$ | ۶/۱۱±۰/۷۳$^{a}$ | ۱۰±۱/۶۷$^{a}$ | ۶/۶۷±۰/۸۳$^{a}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. اعداد داخل جدول به درصد است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

**جدول ۱۰: مقایسه میانگین اثرات متقابل درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک خشک (DS)**

| | تیمار | DS11/2 (mm) | DS8 (mm) | DS4/75 (mm) | DS2 (mm) | DS1/18 (mm) | DS0/6 (mm) | DS0/25 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1H1 | ۴۳/۳۳±۱/۶۷$^{abc}$ | ۶/۶۷±۱/۶۷$^{bc}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{b}$ | ۱۱/۶۷±۱/۶۷$^{abc}$ | ۱۰±۲/۸۹$^{a}$ | ۶/۶۷±۱/۶۷$^{ab}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{ab}$ |
| | S1H0 | ۴۰±۰$^{abc}$ | ۵±۰$^{c}$ | ۱۱/۶۷±۱/۶۷$^{ab}$ | ۱۳/۳۳±۱/۶۷$^{abc}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{ab}$ | ۱۱/۶۷±۱/۶۷$^{a}$ | ۵±۰$^{b}$ |
| اثرات متقابل | S2H1 | ۳۵±۲/۸۹$^{cd}$ | ۵±۰$^{c}$ | ۱۱/۶۷±۱/۶۷$^{ab}$ | ۱۶/۶۷±۱/۶۷$^{a}$ | ۵±۰$^{b}$ | ۱۱/۷۶±۱/۶۷$^{a}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{ab}$ |
| | S2H0 | ۴۳/۳۳±۴/۴۱$^{abc}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{abc}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{b}$ | ۱۱/۶۷±۱/۶۷$^{abc}$ | ۵±۰$^{b}$ | ۱۱/۶۷±۴/۴۱$^{a}$ | ۶/۶۷±۱/۶۷$^{ab}$ |
| | S3H1 | ۴۶/۶۷±۱/۶۷$^{ab}$ | ۶/۶۷±۱/۶۷$^{bc}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{b}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{c}$ | ۵±۰$^{b}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{ab}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{ab}$ |
| | S3H0 | ۳۸/۳۳±۶/۰۱$^{bcd}$ | ۱۰±۰$^{ab}$ | ۱۰±۰$^{ab}$ | ۱۳/۳۳±۱/۶۷$^{abc}$ | ۵±۰$^{b}$ | ۶/۶۷±۱/۶۷$^{ab}$ | ۸/۳۳±۱/۶۷$^{ab}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. اعداد داخل جدول به درصد است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

**درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک مرطوب (WS)**

آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۱۱) نشان داد که اثرات اصلی خاک، اثرات اصلی تیمارها و هم‌چنین اثرات متقابل خاک و تیمارهای مورد مطالعه بر تمامی خصوصیات مورد مطالعه تأثیر معنی‌دار داشت ($p<0.01$).

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی خاک (جدول ۱۲) نشان داد که بیشترین درصد وزنی روی الک ۴/۷۵ (۷/۶۷ درصد)، ۲ (۱۲/۴۹ درصد)، ۱/۱۸ (۱۰/۲۵ درصد) و ۰/۶ (۱۳/۳۴ درصد) میلی‌متر مربوط به خاک S1 بود. بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ (۱۲/۶۸



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

درصد) و ۰/۲۵ میلی‌متر (۱۰/۰۱ درصد) در خاک S2 اندازه‌گیری شد. بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲ میلی‌متر (۱۵/۷۹ درصد) در خاک S3 مشاهده شد. کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۴/۷۵ (۴/۲ درصد)، ۲ (۴/۱۱ درصد) و ۱/۱۸ میلی‌متر (۹/۰۷ درصد) مربوط به خاک S3 بود. کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲ (۱۰/۵۰ درصد) و ۰/۶ میلی‌متر (۸/۶۱ درصد) در خاک S2 اندازه‌گیری شد. کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ (۷/۲۹ درصد) و ۰/۲۵ میلی‌متر (۹/۱۴ درصد) مربوط به خاک S1 بود.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی تیمارهای مورد مطالعه (جدول ۱۲) نشان داد که بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲ (۱۲/۸۱ درصد)، ۸ (۲۰/۰۲ درصد)، ۴/۷۵ (۷/۵۰ درصد)، ۲ (۸/۱۹ درصد)، ۱/۱۸ (۱۴/۲۷ درصد)، ۰/۶ (۱۰/۲۹ درصد) و ۰/۲۵ میلی‌متر (۹/۳۹ ٪) در تیمار H1 اندازه‌گیری شد. درحالی که کمترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲ (۰ درصد)، ۸ (۰/۵۳ درصد)، ۴/۷۵ (۱/۱۲ درصد)، ۲ (۱/۰۷ درصد)، ۱/۱۸ (۴/۸۸ درصد)، ۰/۶ (۵/۳۹ درصد) و ۰/۲۵ (۶/۴۹ درصد) در تیمار H0 مشاهده گردید.

مقایسه میانگین برهمکنش متقابل تیمارها و خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۱۳) نشان داد که بیشترین مقدار درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱۱/۲ میلی‌متر (۱۳/۴۷ درصد) در تیمار S3H بود. در حالی‌که کمترین مقدار آن (۰ درصد) در تیمارهای S1H0، S2H0 و S3H0 مشاهده شد. تیمار S2H1 بیشترین درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ (۲۶/۵۳ درصد) را دارا بود. درحالی که تیمار S1H0 و S2H0 کمترین (۰ درصد) درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ را دارا بود. بیشترین مقدار (۱۰/۵۰ درصد) درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر در تیمار S1H1 بود. در حالی‌که کمترین (۰ درصد) مقدار آن در تیمار S3H0 اندازه‌گیری شد. تیمار S3H0 بیشترین (۲۰/۳۳ درصد) مقدار درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۲ را نشان داد. در حالی‌که تیمار S1H0 کمترین (۰ درصد) مقدار آن را نشان داد. بیشترین (۱۷/۶۳ درصد) مقدار درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۱/۱۸ در تیمار S3H1 مشاهده شد. در حالی‌که کمترین (۳/۵۷ درصد) مقدار آن در تیمار S3H0 مشاهده شد. حداکثر (۱۵/۵۳ درصد) مقدار درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۶ در تیمار S1H1 مشاهده گردید. در حالی‌که حداقل (۲/۳۷ درصد) مقدار آن در تیمار S1H0 مشاهده گردید. تیمار S2H0 و S3H0 به‌ترتیب بیشترین (۱۲/۶۰ درصد) و کمترین (۲/۵۰ درصد) مقدار درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر را نشان دادند.

**جدول ۱۱: تجزیه واریانس درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک مرطوب (WS)**

| | | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییر | درجه آزادی | WS11/2 | WS8 | WS4/75 | WS2 | WS1/18 | WS0/6 | WS0/25 |
| خاک | ۲ | ۱۰۹/۹۴$^{**}$ | ۱۳۳/۲۱$^{**}$ | ۴۶/۵۲$^{**}$ | ۲۷۸/۷۸$^{**}$ | ۱۲/۳۰$^{**}$ | ۱۰۰/۱۰$^{**}$ | ۳/۱۲$^{**}$ |
| تیمار | ۱ | ۶۴۹/۹۱$^{**}$ | ۴۲۹/۲۷$^{**}$ | ۹۵/۰۵$^{**}$ | ۲۵۲/۷۶$^{**}$ | ۱۰۱/۲۹$^{**}$ | ۱۷۷/۹۸$^{**}$ | ۴۶/۰۲$^{**}$ |
| خاک×تیمار | ۲ | ۵۸/۰۲$^{**}$ | ۷۷/۲۱$^{**}$ | ۱۷/۴۴$^{**}$ | ۱۰۳/۴۰$^{**}$ | ۵۸/۷۶$^{**}$ | ۱۱۹/۰۱$^{**}$ | ۵۰/۸۲$^{**}$ |
| خطا | ۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱/۴۷ | ۱/۵۷ | ۴/۰۶ | ۱/۵۷ | ۲/۰۱ | ۱/۵۸ | ۲/۰۱ |

**معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

**جدول ۱۲: مقایسه میانگین اثرات اصلی درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک مرطوب (WS)**

| | تیمار | WS11/2 (mm) | WS8 (mm) | WS4/75 (mm) | WS2 (mm) | WS1/18 (mm) | WS0/6 (mm) | WS0/25 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اثرات اصلی | S1 | ۱۴/۳۳±۲/۳۰$^{b}$ | ۷/۲۹±۱/۱۹$^{c}$ | ۷/۶۷±۱/۰۷$^{a}$ | ۱۲/۴۹±۱/۸۳$^{a}$ | ۱۰/۲۵±۰/۷۱$^{a}$ | ۱۳/۳۴±۲/۵۰$^{a}$ | ۹/۱۴±۱/۰۶$^{c}$ |
| | S2 | ۱۰/۵۰±۱/۶۴$^{c}$ | ۱۲/۶۷±۲/۲۷$^{a}$ | ۵/۳۹±۰/۷۹$^{b}$ | ۱۰/۰۵±۲/۱۸$^{b}$ | ۸/۴۷±۱/۲۷$^{c}$ | ۸/۶۱±۰/۸۱$^{c}$ | ۱۰/۰۱±۰/۷۲$^{a}$ |
| | S3 | ۱۵/۷۹±۲/۵۷$^{a}$ | ۱۲/۲۱±۲/۱۳$^{b}$ | ۴/۲۰±۰/۸۴$^{c}$ | ۴/۱۱±۰/۸۱$^{c}$ | ۹/۰۷±۱/۴۳$^{b}$ | ۹/۱۸±۰/۹۹$^{b}$ | ۹/۳۳±۱/۰۸$^{b}$ |
| | H1 | ۱۲/۸۱±۰/۲۸$^{d}$ | ۲۰/۰۲±۲/۶۸$^{a}$ | ۷/۵۰±۰/۹۸$^{b}$ | ۸/۱۹±۲/۱۳$^{d}$ | ۱۴/۲۷±۰/۸۴$^{a}$ | ۱۰/۲۹±۱/۳۳$^{c}$ | ۹/۳۹±۰/۲۹$^{c}$ |
| | H0 | ۰±۰$^{d}$ | ۰/۵۳±۰/۲۷$^{d}$ | ۱/۱۲±۰/۴۸$^{d}$ | ۱/۰۷±۰/۳۰$^{e}$ | ۴/۸۸±۰/۳۹$^{e}$ | ۵/۳۹±۱/۰۷$^{e}$ | ۶/۴۹±۱/۵۵$^{e}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. اعداد داخل جدول به درصد است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

**جدول ۱۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک مرطوب (WS)**

| | تیمار | WS11/2 (mm) | WS8 (mm) | WS4/75 (mm) | WS2 (mm) | WS1/18 (mm) | WS0/6 (mm) | WS0/25 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1H1 | ۱۳/۲۷±۰/۰۷$^{a}$ | ۹/۴۰±۰/۰۶$^{c}$ | ۱۰/۵۰±۰/۰۶$^{a}$ | ۱۶/۵۷±۰/۰۹$^{b}$ | ۱۲/۶۰±۰/۱۰$^{b}$ | ۱۵/۵۳±۰/۰۹$^{a}$ | ۸/۳۰±۰/۰۶$^{d}$ |
| | S1H0 | ۰±۰$^{c}$ | ۰±۰$^{e}$ | ۲/۹۷±۰/۳۸$^{d}$ | ۰±۰$^{f}$ | ۶/۲۷±۰/۱۵$^{c}$ | ۲/۳۷±۰/۰۲$^{f}$ | ۴/۳۷±۰/۲۷$^{e}$ |
| اثرات | S2H1 | ۱۱/۷۰±۰/۰۶$^{b}$ | ۲۶/۵۳±۰/۰۹$^{a}$ | ۳/۸۰±۰/۰۶$^{c}$ | ۲/۷۳±۰/۰۹$^{d}$ | ۱۲/۵۷±۰/۰۷$^{b}$ | ۶/۸۷±۰/۰۳$^{d}$ | ۹/۶۷±۰/۰۹$^{c}$ |
| متقابل | S2H0 | ۰±۰$^{c}$ | ۰±۰$^{e}$ | ۰/۴۰±۰/۰۶$^{e}$ | ۱/۱۷±۰/۰۹$^{e}$ | ۴/۸۰±۰/۰۶$^{d}$ | ۹/۵۳±۰/۰۳$^{b}$ | ۱۲/۶۰±۰/۰۶$^{a}$ |
| | S3H1 | ۱۳/۴۷±۰/۰۹$^{a}$ | ۲۴/۱۳±۰/۰۹$^{b}$ | ۸/۲۰±۰/۱۲$^{b}$ | ۵/۲۷±۰/۰۹$^{c}$ | ۱۷/۶۳±۰/۰۹$^{a}$ | ۸/۴۷±۰/۰۷$^{c}$ | ۱۰/۲۰±۰/۱۲$^{b}$ |
| | S3H0 | ۰±۰$^{c}$ | ۱/۶۰±۰/۵۸$^{d}$ | ۰±۰$^{f}$ | ۲۰/۳۳±۰/۰۳$^{a}$ | ۳/۵۷±۰/۱۲$^{e}$ | ۴/۲۷±۰/۱۵$^{e}$ | ۲/۵۰±۰/۰۶$^{f}$ |

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است. اعداد داخل جدول به درصد است. داده‌ها±اشتباه از معیار (SE).

## بحث و نتیجه‌گیری

### اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی(EC) و درصد آهک

طبق نتایج مورد مطالعه، افزایش درصد آهک و به دنبال آن کاهش میزان pH در تیمار S3H1 و هم چنین کاهش میزان EC در تیمار S1H1 نشان می‌دهد که پس از گذشت سه ماه، ترکیبات هیومیکی از طریق افزایش درصد آهک و کاهش میزان pH و EC، اثرات مثبتی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها دارند. این نتیجه فرضیه مورد آزمون در این تحقیق مبنی بر تاثیر معنی‌دار مواد هیومیکی در افزایش پایداری خاک‌های حساس به فرسایش بادی مورد مطالعه را تایید می‌نماید. در این خصوص مطالعات سپهر و زبردست (۲۰۱۳) در بررسی اثر اسید هیومیک بر رفتار جذب فسفر در خاک آهکی نشان داد که اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر غذایی به خصوص فسفر خاک، باعث افزایش درصد آهک و کاهش pH و EC خاک می‌شود (۳۴). هم‌چنین طعمه‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تاثیر غلظت‌های اسید هیومیک بر قلیائیت و رهاسازی عناصر غذایی خاک گزارش کردند که اسید هیومیک باعث افزایش عناصر غذایی موجود در خاک و درصد آهک و کاهش میزان pH و EC خاک می‌شود و از این طریق پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (۳۹). به‌طور کلی می‌توان گفت که ترکیبات هیومیکی جزء فعال‌ترین مواد بیوشیمیایی موجود در خاک هستند و از طریق افزایش فعالیت میکروبی و عناصر غذایی خاک، افزایش کربن آلی و اکسیژن خاک و تثبیت دی‌اکسید کربن موجود در فتوسنتز گیاهان موجب افزایش درصد آهک و کاهش اثرات منفی pH و EC خاک می‌شوند (۳).

### تنفس میکروبی و درصد نیتروژن

نتایج مطالعه حاضر افزایش درصد نیتروژن و تنفس میکروبی در تیمار S3H1 نشان می‌دهد که تلقیح ترکیبات هیومیکی در خاک S3 باعث افزایش نیتروژن خاک، افزایش فعالیت میکروبی و به دنبال آن افزایش پایداری خاک شد. این نتیجه نیز تاییدکننده فرضیه مورد آزمون در این مطالعه است. در این خصوص لی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه تأثیر اسید هیومیک بر روی خصوصیات خاک و گیاه بادام زمینی گزارش کردند که اسید هیومیک باعث افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مواد آلی خاک و بهبود عملکرد و کیفیت گیاه بادام زمینی می‌شود (۲۲). سماوات و ملکوتی (۲۰۰۵) در مطالعه ضرورت تولید و استفاده از اسیدهای آلی برای افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی به این نتیجه رسیدند که اسیدهای آلی مانند اسید هیومیک با اکثر کودهای شیمیایی سازگار بوده و در آب و کودهای دیگر مایع هم به خوبی حل می‌شود و از طریق ایجاد اثر مثبت بر فعالیت میکروبی باعث افزایش پایداری خاک و به دنبال آن افزایش پوشش گیاهی می‌شوند (۳۵). به‌طور کلی ترکیبات هیومیکی مواد آلی هستند که از طریق افزایش مدت زمان رطوبت موجود در خاک، کاهش تبخیر خاک و هم چنین افزایش عناصر غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن، باعث افزایش فعالیت میکروبی در خاک و تنفس میکروبی می‌گردند (۲۱).

### مقاومت مکانیکی خاک مرطوب (WP) در برابر نفوذ و جمعیت میکروبی (MP)

در مطالعه حاضر افزایش مقادیر مقاومت مکانیکی خاک مرطوب و کشت میکروبی به‌ترتیب در تیمار S2H1 و S3H1 نشان داد که ترکیبات هیومیکی در افزایش نفوذپذیری آب در خاک و ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید اثرات مثبتی دارند. این نتیجه نیز تاییدکننده فرضیه مورد تحقیق در این مطالعه است. روستا



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه تأثیر اسید هیومیک در عملکرد گندم و خصوصیات خاک گزارش نمودند که کودهای حاوی اسید هیومیک، با تغییر در نسبت جذب سدیم منجربه افزایش نفوذپذیری خاک در مناطقی که خاک دارای محدودیت زهکشی ناشی از نسبت جذب سدیم بالا هستند، می‌شود (۳۱). کوبیرسکی و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه تأثیر مواد هیومیکی در ثبات خاکدانه‌ها در خاک ریزوسفر (خاک حاوی میکروارگانیسم) و غیر ریزوسفر (خاک بدون میکروارگانیسم)گزارش کردند که مواد هیومیکی (ترکیب اسید هیومیک و اسید فولویک) در خاک ریزوسفر باعث افزایش میکروارگانیسم‌ها و مواد معدنی خاک و به دنبال آن پایداری خاک‌دانه‌ها می‌گردد ولی در خاک غیرریزوسفر تأثیر چندانی ندارند (۲۱).

به‌طور کلی می‌توان گفت که مواد هیومیکی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش مقاومت به تنش‌های خشکی، بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش تثبیت نیتروژن و حاصل‌خیزی خاک باعث افزایش نفوذپذیری و پایداری خاک‌های حساس به فرسایش بادی و در نتیجه افزایش رشد گیاهان می‌شوند (۳۴).

**درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک خشک (DS)**

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تیمار S2H1 مقادیر درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۲ میلی‌متر را افزایش داد و در پایداری خاکدانه‌ها اثرات مثبتی نشان داد. این نتیجه نیز تاییدکننده فرضیه مورد آزمون در این مطالعه است. در این خصوص گلیسمن (۱۹۹۹) در مورد تأثیر ترکیبات هیومیکی در خاک به این نتیجه رسیدند که افزودن ترکیبات هیومیکی به خاک باعث تشکیل خاک‌دانه‌ها و بهبود وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت نگه‌داری رطوبت، حاصل‌خیزی خاک، درجه تراکم و قابلیت هدایت هیدرولیکی می‌شود و مقاومت در برابر فرسایش آبی و بادی را بهبود می‌بخشد (۱۹). علاءالدین و موحدی (۲۰۰۹) در مطالعه تأثیر ترکیبات هیومیکی در مقدار سدیم تبادلی و پایداری خاک‌دانه‌ها گزارش کردند که ترکیبات هیومکی در خاک باعث کاهش اثر تخریبی سدیم تبادلی بر ساختمان خاک می‌شود و با افزایش سطح ویژه پایداری، اندازه خاک-دانه‌ها را افزایش می‌دهد (۴). به‌طور کلی ترکیبات هیومیکی از طریق افزایش عناصر غذایی خاک، افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش تبخیر، افزایش کلسیم و منیزیم و کاهش سدیم و نسبت جذب سدیم باعث افزایش مقاومت برشی خاک و به دنبال آن پایداری خاکدانه می‌شوند (۳۸).

**درصد وزنی خاکدانه‌ها در الک مرطوب (WS)**

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تیمار S2H1 مقدار درصد وزنی خاکدانه‌ها روی الک ۸ میلی‌متر را افزایش داد و متعاقبا این موضوع می‌تواند نشان دهنده تاثیر مثبت مواد هیومیکی در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و کاهش حساسیت خاک در برابر فرسایش باشد. در این خصوص زباره و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه تاثیر مواد آلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بیان کردند که افزودن ترکیبات هیومیکی به خاک باعث بهبود هدایت هیدرولیکی، درجه تراکم، ظرفیت نگه‌داری رطوبت، چگالی ظاهری، حاصل‌خیزی خاک و مقاومت در برابر فرسایش آبی و بادی می‌شود (۴۲). به‌طور کلی ترکیبات هیومیکی از طریق بهبود ساختمان خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، ظرفیت نگه-داری رطوبت، افزایش جذب عناصر غذایی مخصوصا نیتروژن و افزایش چسبندگی بین ذرات خاک، باعث افزایش پایداری خاک در برابر فرسایش آبی و بادی می‌شوند (۲۸).

به‌طور کلی مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تاثیر ترکیبات هیومیکی (اسید هیومیک+اسید فولویک) در بهبود برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع تخریب یافته طاغذی سیستان انجام شد. به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد مواد هیومیکی در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های تخریب یافته مرتع مورد تحقیق موثر بود. کاربرد ترکیبات هیومیکی در افزایش نیتروژن خاک، افزایش نفوذپذیری آب در خاک، بهبود تنفس میکروبی خاک و متعاقبا ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک اثرات مثبتی داشتند. در مجموع، کاربرد مواد هیومیکی در مقایسه با راهکارهایی مانند استفاده از کودهای شیمیایی در سطح خاک‌های حساس به تخریب و فرسایش بادی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، قابل دسترس و همچنین دوستدار محیط زیست می‌تواند راه کاری کاملا پایدار در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و درنتیجه افزایش پایداری خاک باشد.



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

**References**


1. Abedi, T. & H. Pakniyat, 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46 (1): 27 -34. (In Persian)
2. Aliasgharzad, N, 2011. Laboratory methods in soil biology (translation). University of Tabriz Publications, Tabriz, 546p. (In Persian)
3. Anwar, S., F. Iqbal, W.A. Khattak, M. Islam & S. Khan, 2016. Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. EC Agriculture, 3: 558-565.
4. Alaaeddin, M.Z. & S.A.R. Movahedi Naini, 2009. The effect of specific surface area, organic matter, exchangeable sodium content and salinity on the stability and size of aggregates, Proceedings of the 15th Iranian Soil Science Congress, 11: 1542-1544. (In Persian)
5. Amirnezhad, H. & H. Rafiei, 2010. A study on the effect of socio-economic factors on users' participation in range management projects. Journal of Rangeland, 3(4): 710-722. (In Persian)
6. Arami, S.A., M. Ownegh, M. Mohammadian Behbahani, M. Akbari & A.R. Zarasvandi, 2018. Statistical analysis of spatio-temporal pattern of dust storms in the west and southwest of Iran. Journal of Water and Soil Conservation, 25(1): 61-83. (In Persian)
7. Ahmadi, H., M.R. Ekhtesasi, S. Feyznia & M.J. Ghanei Bafghi, 2002. Control methods of wind erosion for railroads protection (case study: Bafgh region). Iranian Journal of Natural Resources, 55(3): 327-339. (In Persian)
8. Akladious, S. & H. Mohamed, 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (Capsicum annuum) plants grown under salt stress. Scientia Horticulturae, 236: 244-250.
9. Asenjo, M.C.G., J.L. Gonzalez & J.M. Maldonado, 2000. Influence of humic extracts on germination and growth of ryegrass. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31 (1-2): 101-114.
10. Bihamta, M.R. & M.A. Zare Chahouki, 2011. Principles of statistics for the natural resource's science, University of Tehran Press. 300 p. (In Persian)
11. Cappuccino, J.G. & N. Sherman, 2007. Microbiology: a laboratory manual. Dorling Kindersley Pvt. Ltd, License of Pearson Education, New Delhi, India, 143-193 pp.
12. Erci, V. & C. Şeker, 2024. Humic acid effects on wind erosion control in sandy clay loam and clay loam soils: A wind tunnel study. Soil and Environment, 43(2): 222-229.
13. Fortun, A., J. Benayas & C. Fortun, 1990. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study. Journal of Soil Science, 41(4):563-572.
14. Fazelnia, Gh., 2015. Evaluation and comparative of quality of life indicators in extended and nuclear families case study: The rural areas in poshtab district of Zabol. Journal of Rural Research, 5: 30-35. (In Persian)
15. Gee, G.W., J.W. Bauder & A. Klute, 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, PP: 383-411.
16. Gliessman, S.R, 1999. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. USA: Lewis Publishers (CRC Press), 220 p.
17. Gupta, S., M.G. Kulkarni, J.F. White, W.A. Stirk, H.B. Papenfus, K. Doležal, V. Ördög, J. Norrie, A.T. Critchley & J. van Staden, 2021. Categories of various plant biostimulants - mode of application and shelf-life. Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development, 1-60
18. Jackson, M.L., 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi, 498p.
19. Jafari Haghighi, M., 2003. Soil analysis Methods: Sampling and important physical and chemical analyses. Nedae Zoha Press, 240p. (In Persian)
20. Kooch, Y., F. Rostayee & S.M. Hosseini, 2016. Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. Catena, 144: 65 -73.
21. Kobierski, M., K. Kondratowicz-Maciejewska, M. Banach-Szott, P. Wojewodzki & J. Matias Penas Castejon, 2018. Humic substances and aggregate stability in rhizospheric and non-rhizospheric soil. Journal of Soils and Sediments, 18: 2777-2789.
22. Li, Y., F. Fang, J. Wei, X. Wu, R. Cui, G. Li, F. Zheng & D. Tan, 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. Scientific reports, 9: 1-9.
23. López, M.V., J.M. de Dios Herrero, G.G. Hevia, R. Gracia & D.E. Buschiazzo, 2007. Determination 3of the wind-erodible fraction of soils using differentmethodologies. Geoderma 139: 407–411.
24. Memardastjerdi, R., S. Minaei & M.R. Mostofi Sarkari, 2006. Design and evaluation of a device for continuous measurement of soil mechanical strength, 4th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Persian)




[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]

25. Muscolo, A., M. Sidari, O. Francioso, V. Tugnoli & S. Nardi, 2007. The auxin-like activity of humic substances is related to membrane interactions in carrot cell cultures. Journal of Chemical Ecology, 33 (1): 115-129.
26. Nelson, D.W. & N. Sommers, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties methods of soil, pp: 539-579.
27. Nan, L., Z. Dong, W. Xiao, C. Li, N. Xiao, S. Song, F. Xiao & L. Du, 2018. A field investigation of wind erosion in the farming–pastoral ecotone of northern China using a portable wind tunnel: a case study in Yanchi County. Journal of Arid Land, 10: 27-38.
28. Ounia, Y., T. Ghnayaa, F. Montemurrob, C.H. Abdellya & A. Lakhdara, 2014. The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity Inter. Journal of Plant Production, 8: 353-374.
29. Royan Consulting Engineers, 2006. Instructions for Laboratory Analysis of Soil and Water Samples, Journal No. 467, Vice President for Strategic Planning and Supervision. (In Persian)
30. Rossi, F., E.J. Olguın, L. Diels & R. De Philippis, 2015. Microbial fixation of $CO_2$ in water bodies and in drylands to combat climate change, soil loss and desertification. New Biotechnology, 32(1): 109-120.
31. Rusta, M.J., K. Enayati, W. Soltani, M. Shiran, F. Ghaneh, N. Besharat & A. Neshat, 2018. Effects of humic acid application on yield and yield components of wheat and some soil properties in a saline soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 8: 95-108. (In Persian)
32. Shekl Abadi, M., H. Khademi & A.H. Charkhabi, 2003. Runoff production in different material soils in Golabad Ardestan watershed. Agricultural and Natural Resources Sciences and Engineering, 7(2): 85-101. (In Persian)
33. Sadeghi, S.H.R., H. Khairfam, M. Homaee & B. Zarei Darki, 2017. Improvement of water infiltration in an erosion-sensitive soil in laboratory conditions through artificial increase of soil microorganism population. Iranian Soil and Water Research, 47: 798-805. (In Persian)
34. Sepehr, A. & R. Zebardast, 2013. The effect of humic acid on phosphorus uptake behavior in calcareous soil. Journal of Water and Soil, 27: 731-720. (In Persian)
35. Samavat, S. & M.J. Malakouti, 2005. The need to use organic acids (humic and fulvic) to increase the quantity and quality of agricultural products. Technical Publication No. 463. Senate Publications. Tehran. Iran. (In Persian)
36. Sebahattin, A. & C. Necdet, 2005. Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). Agronomy Journal, 4: 130-133.
37. Shiyatyi, E.I, 1965. Wind structure and velocity over a rugged soil surface. Vestnik Sel.-khoz. Nauki, vol. 10. Alma-Ata (in Russian) (Cited by Zachar, D. 1982. Soil Erosion. Elsevier/North-Holland Inc., New York. 547 pp.
38. Tan, K.H. 2011. Principles of soil chemistry. CRC Press. 390 p.
39. Toamehzadeh, J., A. Gholami., M. Nourzade hadad., A. Hassani & K. Mohsenifar, 2021. The effect of humic acid concentrations on alkalinity and release of soil nutrients, germination and grass growth index in Lawn. Journal of Environmental Science and Technology, 29: 87-99. (In Persian)
40. Yang, F., S. Zhang, K. Cheng & M. Antonietti, 2019. A hydrothermal process to turn waste biomass into artificial fulvic and humic acids for soil remediation. Science of the Total Environment, 686: 1140-1151.
41. Yoder, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Agronomy Journal, 28: 337-351.
42. Zebarth, B.J., G.H. Nelisen, E. Hogue & D. Nelisen, 1999. In fluence of organic waste amendmends on selected soil physical and chemical properties. Candian Journal of Soil Sciety, 79: 501-504.

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.2.2.7 ]