

Evaluation of the effect of environmental indicators on the yield and quality of Vetiver plant in soil and rangeland protection, case study: lateral slope of Sangar Dam reservoir, Siahkal County, Gilan Province

Sahel Haghighi^{1*}, Zeynab Jafarian², Mohamad Azadbakht³, Frood Sharifi⁴ and Reza Tamartash⁵

¹ Ph.D Student of Pasture Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran

² Professor, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran

³ Professor, Mazandaran University of Medical Sciences, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmacognosy, Mazandaran, Iran

⁴ Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

⁵ Associate Professor, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran

Received: 05 April 2024

Accepted: 08 July 2024

Extended abstract

Introduction

Following the climate change of recent decades and the intensification of soil erosion and pollution, in many countries of the world, planting of a large area of Vetiver plant under the title of soil bioengineering has been considered for the protection of the environment and natural resources. Since Vetiver is a 4C plant, it has a high efficiency in energy conversion through photosynthesis. Its leaves and stems, when completely decomposed, create a compost containing brown, dark black and white materials. Vetiver compost has a high nutritional value for providing livestock fodder and a high biomass caloric value in the soil and microorganisms present in it. Among the important uses of Vetiver are soil protection due to its spreading and deep roots, use as fodder, plant purification properties, use of effective enzymes and hormones for soil maintenance on steep slopes, presence of active ingredients that can be used in the health, pharmaceutical and perfume industries, and its special feature in reducing CO₂ (one plant can absorb 25% of excess carbon dioxide). Vetiver can be used as the most suitable protective wall on steep slopes of highways and side walls of dam reservoirs. By increasing the density of Vetiver roots in the soil, the degree of soil adhesion increases and the angle of internal friction of the soil decreases. It can be stated that the increase in the density of Vetiver roots is the reason for increasing the shear strength of the soil. Therefore, it is necessary to understand the performance of this plant for different environmental conditions. For this purpose, this research was conducted with the aim of better understanding the performance of this plant on the side slopes of the Sangar Dam reservoir in Siahkal County (Gilan Province).

Materials and methods

In this study, soil and Vetiver plant root sampling was carried out from a depth of 0-50 cm on the slope of the dam reservoir wall with different degrees of slopes of 30-40, 40-50, and 60-70 degrees in four replicates. A total of 12 untouched soil samples and 12 soil samples with Vetiver plant roots were sampled using steel rings and 12 Vetiver plant were sampled. Soil properties including soil texture using hydrometric method, soil moisture using gravimetric method, acidity using saturated mud method, electrical conductivity using extraction method and soil salinity with EC meter, organic matter, lime and potassium of soil were measured using film photometer in the laboratory. To investigate the effect of moisture and Vetiver roots on soil shear strength, laboratory direct shear measurement method was used. Vetiver root extracts were extracted separately by maceration method using methanol/water solvents (80/20) and the extracts were concentrated using a rotary device. Finally, the results of measuring soil properties, Vetiver root weight and plant root extracts were analyzed using ANOVA test, analysis of variance and comparison of means and SPSS software.

* Corresponding author: sahel.haghighi66@gmail.com

Results and discussion

Vetiver planting on the side slopes of the Sangar-Gilan Dam reservoir has been done with the aim of preventing soil erosion, stabilizing the slopes and riverside slopes. Vetiver plant roots vertically penetrate deep into the soil. The development of root hairs of the Vetiver plant increases with the increase in the slope of the soil. The weight of the tension wires increases in proportion to the increase in the slope of the soil. Therefore, the characteristics of the weight of Vetiver plant roots and the weight of Vetiver plant root extract are affected by the characteristics of soil in steep slopes. There is a significant correlation and relationship between the soil properties and the weight of Vetiver root (*Chrysopogon zizanioides*) and the weight of plant root extract in the steep slope of Sangar Dam. The results showed that the weight of the roots of this plant increases with the increase of biological activities. On the side slopes of the Sangar-Gilan Dam reservoir, the diameter and weight of the roots were measured from the first level with a slope of 30-40 degrees, the second level with a slope of 40-50 degrees and the third level with a slope of 60-70 degrees. It has increased from the soil surface to a depth of 20 cm. The diameter of Vetiver plant roots increased in the first level 1.5 mm, the second level 2 mm and the third level 2.1 mm. The development of these roots and its dead threads has increased the shear resistance of the soil in the first level by 20.74%, in the second level by 22.28% and in the third level by 25.95%. The roots of the Vetiver plant have led to an increase in the adhesion of soil particles and prevented the movement and sliding of the soil downstream of the side slope of the Sangar-Gilan Dam reservoir.

Conclusions

The results of this research showed that, in addition to strengthening pastures, fodder production, and the possibility of aromatic and industrial use, Vetiver planting has increased the shear resistance of the soil on the slope. In fact, the establishment of this plant leads to an increase in adhesion and shear strength of the soil. It seems that the Vetiver plant (*Chrysopogon zizanioides*) has the ability to consciously recognize and adapt to the planted environment and changes the density and weight of its roots in accordance with the change of slope for better establishment. Therefore, by increasing the root density (RAR), the internal friction angle of the soil is reduced and it becomes intelligently compatible with the environment. Considering the development of the root system of vetiver plant up to several meters in sloping slopes, it is a good choice to increase soil adhesion, increase shear resistance, and by rooting deep into the soil, it leads to preventing soil erosion and landslides. . It is suggested to plant vetiver plant on steep slopes due to its high adaptability in different climates and conditions, the possibility of several meters of root growth, to stabilize the soil and prevent sliding and erosion on steep slopes.

Keywords: Resistance, Root extract, Root weight, Shear stress, Slope

Cite this article: Haghighi, S., Jafarian, Z., Azadbakht, M., Sharifi, F., Tamartash, R., 2025. Evaluation of the effect of environmental indicators on the yield and quality of Vetiver plant in soil and rangeland protection, case study: lateral slope of Sangar Dam reservoir, Siahsak County, Gilan Province. *Water. Eng. Manag.* 17(2), 188-202.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



ارزیابی اثر شاخص‌های محیطی بر عملکرد و کیفیت گیاه وتیور در حفاظت خاک و مرتع، مطالعه موردی: دامنه جانبی مخزن سد سنگر شهرستان سیاهکل استان گیلان

ساحل حقیقی^{۱*}، زینب جعفریان^۲، محمد آزادبخت^۳، فرود شریفی^۴ و رضا تمرناش^۵

^۱ دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

^۲ استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

^۳ استاد، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دانشکده داروسازی، گروه فارماکوتوزی، مازندران، ایران

^۴ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۵ دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷

چکیده مبسوط

مقدمه

در پی تغییر شرایط اقلیمی دهه‌های اخیر و با تشدید فرسایش و آلودگی خاک، در بسیاری از کشورهای جهان برای حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی، کاشت سطح وسیعی از گیاه وتیور با عنوان زیست مهندسی خاک مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که وتیور گیاهی از نوع C₄ است، بهره‌وری بالایی در تبدیل انرژی از طریق فتوسنتز دارد. برگ‌ها و ساقه‌های آن زمانی که به‌طور کامل تجزیه می‌شوند، کمپوستی شامل مواد قهوه‌ای رنگ، تیره مایل به سیاه و سفید رنگ به وجود می‌آورند. کمپوست وتیور دارای ارزش غذایی بالایی جهت تأمین علوفه دام و ارزش کالری زیست‌توده بالایی در خاک و میکروارگانیسم‌های موجود در آن است. از جمله کاربردهای مهم وتیور حفاظت از خاک به دلیل داشتن ریشه‌های افشان و عمیق، استفاده به عنوان علوفه، خصوصیت گیاه‌پالایی، استفاده از آنزیم و هورمون‌های مؤثر برای نگهداری خاک در دامنه‌های شیب‌دار، دارا بودن مواد مؤثره قابل استفاده در صنایع بهداشتی، دارویی و عطرسازی، ویژگی خاص آن در کاهش CO₂ است (یک بوته آن می‌تواند ۲۵ درصد مازاد گاز کربنیک را جذب کند). گیاه وتیور را می‌توان به عنوان مناسب‌ترین دیواره حفاظتی در دامنه‌های شیب‌دار بزرگراه‌ها و دیوار جانبی مخازن سدها استفاده کرد. با افزایش تراکم ریشه‌های گیاه وتیور در خاک، میزان چسبندگی خاک افزایش، زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش پیدا می‌کند. می‌توان اظهار کرد افزایش تراکم ریشه‌های گیاه وتیور دلیل افزایش مقاومت برشی خاک است. لذا، شناخت عملکرد این گیاه برای شرایط مختلف محیطی ضروری است. بدین منظور، این پژوهش با هدف شناخت بهتر عملکرد این گیاه در دامنه‌های جانبی مخزن سد سنگر شهرستان سیاهکل (استان گیلان) انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه‌برداری خاک و ریشه گیاه وتیور از عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری خاک دامنه دیواره مخزن سد با درجه شیب‌های مختلف، سطح اول (۳۰-۴۰ درجه)، سطح دوم (۴۰-۵۰ درجه)، سطح سوم (۶۰-۷۰ درجه) در چهار تکرار صورت پذیرفت. در مجموع ۱۲ نمونه خاک (دست نخورده) و ۱۲ نمونه خاک به همراه ریشه گیاه وتیور با استفاده از

* مسئول مکاتبات: sahel.haghighi66@gmail.com

رینگ استیل و ۱۲ نمونه گیاه وتیور نمونه برداری شد. ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک با روش هیدرومتری، رطوبت خاک با روش وزنی، تعیین اسیدیته با روش گل اشباع، هدایت الکتریکی با روش عصاره‌گیری و شوری خاک با EC متر، درصد ماده آلی، آهک و پتاسیم خاک با استفاده از دستگاه فیلم‌فوتومتر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی تأثیر رطوبت و ریشه وتیور بر روی مقاومت برشی خاک از روش اندازه‌گیری برش مستقیم آزمایشگاهی استفاده شد. استخراج عصاره‌های ریشه گیاه وتیور به روش ماسراسیون به‌طور جداگانه با استفاده از حلال‌های متانول/آب (۲۰/۸۰) و تغلیظ عصاره‌ها با استفاده از دستگاه روتاری انجام شد. در نهایت نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، وزن ریشه گیاه وتیور و عصاره‌های ریشه گیاه با استفاده از آزمون ANOVA تجزیه واریانس و مقایسه میانگین و نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

کاشت گیاه وتیور در دامنه‌های جانبی مخزن سد سنگر-گیلان با هدف جلوگیری از فرسایش خاک، تثبیت شیب‌ها و دامنه‌های کنار رودخانه‌ای انجام شده است. مجموعه تارهای کشنده ریشه‌های گیاه وتیور به‌صورت عمودی به عمق خاک نفوذ می‌کنند. توسعه تارهای کشنده ریشه گیاه وتیور با افزایش میزان درجه شیب خاک دامنه بیشتر می‌شود. وزن تارهای کشنده در هم پیچیده شده به طبع با افزایش درجه شیب خاک دامنه افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، ویژگی وزن ریشه‌های گیاه وتیور و وزن عصاره ریشه گیاه وتیور تحت تأثیر ویژگی‌های خاک در دامنه‌های شیب‌دار قرار می‌گیرد. بین ویژگی‌های خاک و میزان وزن ریشه گیاه وتیور (*Chrysopogon zizanioides*) و وزن عصاره ریشه گیاه در دامنه شیب‌دار سد سنگر همبستگی و ارتباط معنی‌داری وجود دارد. نتایج نشان داد که وزن ریشه‌های این گیاه همراه با افزایش فعالیت‌های زیستی افزایش پیدا می‌کند. در دامنه جانبی مخزن سد سنگر گیلان به‌ترتیب از سطح اول با شیب ۳۰-۴۰ درجه، سطح دوم با شیب ۴۰-۵۰ درجه و سطح سوم با شیب ۶۰-۷۰ درجه قطر و وزن ریشه‌ها از سطح خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متر افزایش پیدا کرده است. قطر ریشه‌های گیاه وتیور در سطح اول ۱/۵ میلی‌متر، سطح دوم دو میلی‌متر و در سطح سوم ۲/۱ میلی‌متر افزایش یافت. توسعه این ریشه‌ها و تارهای کشنده آن موجب افزایش مقاومت برشی خاک در سطح اول ۲۰/۷۴ درصد، در سطح دوم ۲۲/۲۸ درصد و در سطح سوم ۲۵/۹۵ درصد شده است. حضور ریشه‌های گیاه وتیور منجر به افزایش چسبندگی ذرات خاک شده و مانع حرکت و لغزش خاک به سمت پایین دست دامنه جانبی مخزن سد سنگر گیلان شده است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاشت گیاه وتیور ضمن تقویت مراتع، تولید علوفه و امکان استفاده عطری و صنعتی، مقاومت برشی خاک در دامنه شیب‌دار را افزایش داده است. در واقع استقرار این گیاه منجر به افزایش چسبندگی و افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود. به‌نظر می‌رسد گیاه وتیور (*chrysopogon zizanioides*) به‌صورت هوشمند توانایی شناخت و تطبیق در محیط کاشته شده را داشته و متناسب با تغییر شیب، تراکم و وزن ریشه‌های خود را برای استقرار بهتر تغییر می‌دهد. بدین صورت با افزایش تراکم ریشه (RAR)، زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش یافته و سازگاری هوشمندانه‌ای با محیط پیدا می‌کند. با توجه به توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه وتیور تا چند متر در دامنه‌های شیب‌دار، انتخاب مناسبی جهت افزایش چسبندگی خاک، افزایش مقاومت برشی بوده و با ریشه‌دوانی به عمق خاک منجر به جلوگیری از فرسایش خاک و لغزش می‌شود. پیشنهاد می‌شود، کاشت گیاه وتیور در دامنه‌های شیب‌دار با توجه به سازگاری بالا در اقلیم‌ها و شرایط متفاوت، امکان رشد چند متری ریشه، برای تثبیت خاک و جلوگیری از لغزش و فرسایش در دامنه‌ها شیب‌دار اجرایی شود.

واژه‌های کلیدی: تنش برشی، شیب، عصاره ریشه، مقاومت، وزن ریشه

مقدمه

فرسایش تشدیدشونده و پسرقت خاک ازجمله نگرانی‌های مهم زیست‌محیطی قرن حاضر محسوب می‌شوند. از مهم‌ترین پیامدهای فرسایش درجای خاک می‌توان به هدررفت لایه سطحی خاک، انتقال عناصر غذایی و کاهش توان تولیدی آن اشاره کرد. این پدیده در نتیجه برهم‌کنش عوامل اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی به وجود می‌آید و مدیریت مؤثر آن، نقش اساسی در حفظ کیفیت خاک، پایداری کشاورزی و سلامت محیط‌زیست دارد (Nosrati et al., 2021). بین پوشش گیاهی و بهبود ویژگی‌های خاک و کاهش فرسایش، ارتباطی مستقیم وجود دارد (Khaleghi et al., 2019).

در این میان، روش زیست‌مهندسی خاک به‌عنوان یک راهکار سازگار با محیط‌زیست، با اتکا به کاشت پوشش گیاهی در اراضی شیب‌دار و دامنه‌ها، به افزایش پایداری و مقاومت خاک کمک می‌کند. پوشش گیاهی می‌تواند از طریق دو سازوکار مکانیکی و هیدرولوژیکی موجب پایداری شیب‌ها شود. با توجه به فشار روزافزون بر منابع طبیعی، تخریب محیط‌زیست نیز در حال افزایش است (Mohsenipour et al., 2019).

در این زمینه، گیاه وتیور به‌عنوان یک گونه چندساله از خانواده گرامینه، نقش بسیار مؤثری در مدیریت رواناب و رسوب دارد (Asgari et al., 2024). این گیاه با اقلیم مدیترانه‌ای سازگار بوده و دارای ریشه‌هایی بسیار قوی، گسترده و عمیق است؛ به‌طوری‌که در طی چند ماه اولیه، ریشه‌ها تا عمق بیش از یک متر و در سال‌های بعد تا چند متر رشد می‌کنند (Ghadampur et al., 2012؛ Sharifi et al., 2013). کشت وتیور یکی از کم‌هزینه‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها برای حفاظت خاک محسوب می‌شود؛ زیرا ریشه‌های آن مانند یک سد زیرزمینی طبیعی عمل کرده و موجب افزایش مقاومت برشی خاک در اراضی شیب‌دار می‌شوند (Khaleghi et al., 2019؛ Ghavam Arabian, 2007). پوشش سطحی خاک با سنگ و گیاه وتیور می‌تواند به‌طور معناداری ($p \leq 0.05$) هدررفت خاک را کاهش دهد (Asgari, 2023). همچنین سیستم ریشه‌ای این گیاه میزان رواناب را کاهش، رطوبت قابل‌دسترس را افزایش داده و از جابه‌جایی خاک از بالادست به

پایین‌دست شیب جلوگیری می‌کند. لازم به ذکر است که بخش‌های مختلف گیاه وتیور علاوه بر نقش حفاظتی، دارای خواص درمانی، خوراکی و کاربردهای صنعتی هستند (Maffei et al., 1988؛ Khatouni and Kolahi, 2021).

گیاه وتیور برای رشد مناسب به میانگین دمایی بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و بارندگی حداقل ۳۰۰ میلی‌متر و مطلوب‌تر بیش از ۷۰۰ میلی‌متر نیاز دارد. این گیاه تاکنون در بیش از ۴۰ کشور جهان ازجمله استرالیا، بولیوی، چین، کاستاریکا، اکوادور، السالوادور، گواتمالا، هندوراس، هند، اندونزی، ماداگاسکار، مالزی، مکزیک، نپال، نیجریه، فیلیپین، سریلانکا، آفریقای جنوبی، تایلند، زامبیا، زیمبابوه، پاکستان، فیجی، تونگا، کلمبیا، برزیل، پاراگوئه، ایتالیا و بریتانیا برای اهداف کشاورزی و غیرکشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. در ایران نیز کاشت این گیاه در برخی مناطق شیب‌دار ازجمله استان‌های گیلان، گلستان و تهران انجام شده است.

برگ گیاه وتیور برای دام‌های گیاه‌خوار به‌ویژه در مراحل اولیه رشد، بسیار خوش‌خوراک و مطلوب است. زیست‌توده وتیور دارای ارزش کالری بین ۱۵ تا ۱۸ مگاژول بر کیلوگرم است که حدود ۶۰ درصد آن مربوط به کربن (۳۳-۲۴ مگاژول بر کیلوگرم) و حدود ۴۵ درصد مربوط به اسانس (۴۰ مگاژول بر کیلوگرم) است. برگ‌های گیاه وتیور کمپوستی با کیفیت بالا تولید می‌کنند؛ به‌طوری‌که نسبت کربن به نیتروژن آن پس از ۱۲۰ روز پوسیدن، از ۱۲۵-۹۱ به ۴۷/۵-۳۸/۹ کاهش می‌یابد. این کمپوست به‌طور میانگین دارای ۰/۸۶ درصد نیتروژن، ۰/۲۹ درصد فسفر، ۰/۱۲ درصد پتاسیم، ۰/۵۵ درصد کلسیم، ۰/۴۱ درصد منیزیم و pH برابر ۷ است و همچنین حاوی اسید بیومیک است (Haghighi, 2020).

در پژوهشی با موضوع بررسی اثر تراکم ریشه گیاه وتیور در کنترل فرسایش خاک با استفاده از آزمایش‌های برش مستقیم درجا و آزمایشگاهی، تأثیر این گیاه در تثبیت انواع مختلف خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش تراکم ریشه باعث افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک می‌شود (Ghadampur et al., 2012). ریشه گیاهان بسته به

اندازه‌گیری تنش برشی مستقیم خاک با وزن ریشه‌های گیاه و تیور و وزن عصاره حاصل از ریشه‌های خشک‌شده گیاه انجام شد.

مجموعه‌ای از گیاهان و تیور دست‌کاشت در دو دامنه جانبی مشرف به مخزن سد سنگر، در مساحتی برابر با 8×40 مترمربع، در سه طبقه (تراس‌بندی) با هدف کاهش لغزش خاک، کاهش رسوبات و جلوگیری از سیل و فرسایش کاشته شده‌اند. به‌منظور ارزیابی اثر شاخص‌های محیطی بر عملکرد و کیفیت گیاه و تیور در حفاظت خاک و مرتع، نمونه‌برداری از خاک و ریشه گیاه و تیور از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری در سه سطح شیب مختلف ($30-40$ درجه، $40-50$ درجه، و $60-70$ درجه) و در هر سطح با چهار تکرار (در مجموع ۱۲ نمونه خاک و ۱۲ نمونه ریشه) انجام گرفت.

ویژگی‌های خاک (شکل ۲) شامل بافت خاک با روش هیدرومتری، رطوبت وزنی، اسیدیته با روش گل اشباع، هدایت الکتریکی با عصاره اشباع، درصد ماده آلی، درصد آهک و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیمتومتر (همگی براساس Jafari Haghighi, 2002) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری تنش برشی خاک همراه با ریشه گیاه و تیور (*Chrysopogon zizanioides*)، ابتدا رطوبت خاک در محل نمونه‌برداری و سپس در آزمایشگاه مکانیک خاک اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌برداری از خاک بدون ریشه و نیز همراه با ریشه‌های گیاه و تیور با استفاده از ظروف حلقه‌ای استیل به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. برای هر ظرف، چهار عمق ۵-، ۱۰-، ۱۵-، ۲۰- و ۱۵- سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قالب‌ها با استفاده از جک هیدرولیکی با خاک دست‌نخورده پر شده و سپس در دستگاه برش مستقیم قرار گرفتند. به تناسب عمق نمونه‌ها، بارهای وارده به قالب‌ها نیز به‌ترتیب صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوپاسکال در نظر گرفته شد. سطح مقطع قالب‌ها 6×6 سانتی‌متر بوده و مساحت سطح ریشه‌ها در این قالب‌ها جهت اندازه‌گیری تنش برشی و وزن آنها محاسبه شد (Ghadampur et al., 2012).

نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای اتاق و در سایه خشک شدند. قطر ریشه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری

شرایط محیطی و ترکیبات معدنی خاک دائماً در حال تغییر است و این تغییرات مستقیماً بر جذب عناصر غذایی تأثیر می‌گذارند (Jones et al., 2004). از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ترکیبات شیمیایی ثانویه گیاهان، می‌توان به عوامل ژنتیکی، محیطی و اثر متقابل آنها اشاره کرد. همچنین نور، دما، رطوبت، شیب و ارتفاع محل کاشت به‌طور معناداری بر کمیت و کیفیت اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی تأثیر دارند (Alipour et al., 2011).

با توجه به اینکه دیواره‌های جانبی مخازن سدها و سایر دامنه‌های شیب‌دار در معرض خطر لغزش زمین و جابه‌جایی خاک قرار دارند، تثبیت و حفاظت خاک در این نواحی ضرورتی جدی است. گیاه و تیور به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود از جمله ریشه‌های عمیق، مقاومت به شوری و خشکی، و خواص پالایندگی خاک، گزینه‌ای بسیار مناسب در این زمینه محسوب می‌شود. این گیاه نه تنها از طریق اندام هوایی با ایجاد لایه محافظ بین خاک و جو از فرسایش سطحی جلوگیری می‌کند، بلکه سیستم ریشه‌ای آن نیز مقاومت خاک را در برابر لغزش و فرونشست افزایش می‌دهد.

در این پژوهش، به‌منظور بررسی ارتباط میان ویژگی‌های خاک، تنش برشی مستقیم، وزن ریشه‌های گیاه و تیور و وزن عصاره حاصل از ریشه‌های خشک‌شده، نمونه‌برداری از ریشه‌های گیاه در سه سطح شیب ($30-40$ درجه، $40-50$ درجه و $60-70$ درجه) از دیواره جانبی دره‌ی مشرف به مخزن سد سنگر انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: سد سنگر در روستای دوست‌لات، شهرستان سیاهکل، استان گیلان (شکل ۱)، در اقلیم معتدل و مرطوب قرار دارد. این منطقه دارای بارندگی سالانه ۱۲۹۲ میلی‌متر بوده و در مختصات جغرافیایی 36 درجه و 34 دقیقه تا 38 درجه و 27 دقیقه عرض شمالی و 48 درجه و 34 دقیقه تا 50 درجه و 36 دقیقه طول شرقی واقع شده است.

در این پژوهش، نمونه‌برداری از ریشه‌های گیاه و تیور در سه سطح با درجه شیب‌های متفاوت از دامنه جانبی مشرف به مخزن سد سنگر، به‌منظور تعیین ارتباط میان ویژگی‌های خاک و نتایج حاصل از

در نهایت، نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های خاک، اندازه‌گیری تنش برشی مستقیم، قطر و وزن ریشه گیاه وتیور و عصاره ریشه با استفاده از آزمون تجزیه واریانس (One-Way ANOVA)، مقایسه میانگین دانکن و ضریب همبستگی دو متغیره (Duncan's – Bivariate Correlate) در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶/۰ تحلیل و ارائه شدند.

شد (Sodaii Zadeh et al., 2012). عصاره‌گیری از ریشه‌ها به صورت جداگانه با استفاده از حلال متانول/آب (۲۰/۸۰) به روش ماسراسیون انجام گرفت و عصاره‌ها با دستگاه روتاری تغلیظ شدند. نمونه‌های عصاره در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری و برای تحلیل‌های بعدی آماده شدند (Azadbakht et al., 2021).



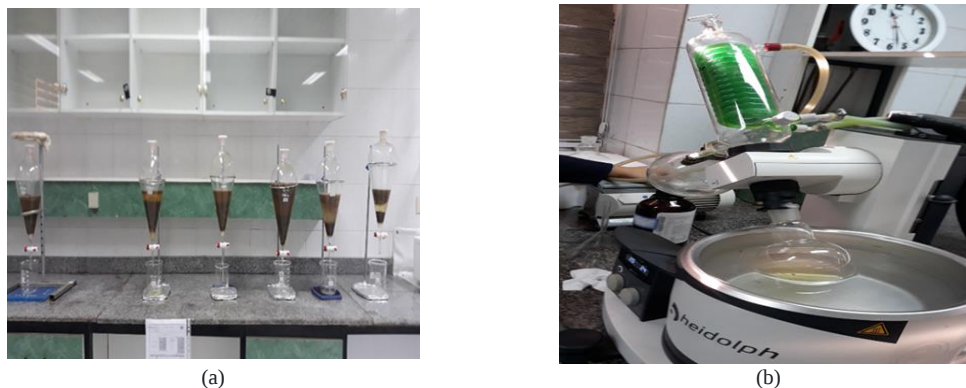
شکل ۱- (a)، (b)، (c) و (d) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در منطقه احداث سد سنگر-روستای دوست‌لات واقع در شهر سیاهکل، استان گیلان

Fig. 1. (a), (b), (c) and (d) Geographical location of the studied area in the Sangar dam construction area - Dost-Lat village located in Siakhkol city, Gilan Province



شکل ۲- (a) و (b) نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک-آزمایشگاه شیمی آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

Fig. 2. (a) and (b) Measurement, soil properties-water and soil chemistry laboratory, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



شکل ۳- (a) و (b) تهیه عصاره‌های ریشه گیاه وتیور (*chrysopogon zizanioides*) - آزمایشگاه فارماکونوزی دانشکده داروسازی، علوم پزشکی مازندران

Fig. 3. (a) and (b) Preparation of vetiver root extracts (*chrysopogon zizanioides*) - Pharmacognosy Laboratory, Faculty of Pharmacy, Mazandaran Medical Sciences

نتایج و بحث

داده‌های حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که بین وزن ریشه گیاه وتیور با فاکتورهای شوری و اسیدیته خاک در سطح پنج درصد ($p \leq 0.05$) و با فاکتورهای کربن آلی، آهک، درصد رس، سیلت، شن، رطوبت و تنش برشی خاک در سطح یک درصد ($p \leq 0.01$) اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۱). این در حالی است که میزان پتاسیم خاک، اختلاف معنی‌داری را در سه سطح با شیب‌های متفاوت نشان نمی‌دهد.

به نظر می‌رسد، گیاه وتیور متناسب با شرایط محیطی، ساختار و عملکرد خود را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که بتواند به تغییرات واکنش مؤثر نشان دهد؛ به عبارت دیگر، گیاه وتیور به خوبی تغییرات محیطی اطراف خود را درک می‌کند. در شرایط مختلف شیب (۳۰-۴۰ درجه، ۴۰-۵۰ درجه و ۶۰-۷۰ درجه)، گیاه وتیور با افزایش وزن ریشه‌های خود، باعث افزایش پایداری مکانیکی دامنه می‌شود. توسعه ریشه‌ها در خاک منجر به کاهش زاویه اصطکاک داخلی و در نتیجه افزایش مقاومت برشی خاک در دامنه‌های شیب‌دار می‌شود.

از سوی دیگر، متابولیت‌های ثانویه گیاه وتیور نیز با افزایش درجه شیب، افزایش یافته‌اند (جدول ۱). نتایج حاصل از آزمایش‌های تنش برشی مستقیم خاک و ارتباط آن با وزن ریشه‌ها و وزن عصاره ریشه‌ها نشان می‌دهد که گیاه وتیور به صورت هدفمند و سازگارانه در دامنه‌های شیب‌دار عمل می‌کند. با افزایش شیب، این گیاه وزن ریشه‌های خود را بیشتر می‌کند تا استقرار

بهتری در خاک داشته باشد که در نهایت به افزایش مقاومت برشی خاک منجر می‌شود.

در چنین شرایطی، فعالیت‌های زیستی گیاه نیز افزایش می‌یابد و به همین دلیل با افزایش شیب، وزن نسبی عصاره گیاه نیز بیشتر شده است. در مجموع، گیاه وتیور به طور هوشمندانه‌ای در شیب‌های مختلف، با افزایش وزن و گسترش سیستم ریشه‌ای، توانایی خود در سازگاری با شرایط محیطی و افزایش پایداری خاک را به نمایش می‌گذارد.

مقایسه میانگین داده‌های حاصل از نتایج شکل ۴ بخش‌های (a)، (b)، (h)، (j) و (e) نشان می‌دهد که در اقلیم معتدل و مرطوب، با افزایش درجه شیب خاک از سطح اول (۳۰-۴۰ درجه) به سطح دوم (۴۰-۵۰ درجه) و سپس به سطح سوم (۶۰-۷۰ درجه)، هم‌زمان با کاهش ارتفاع از سطح دریا و افزایش میزان رطوبت منطقه، میزان اسیدیته (۲/۹ درصد)، درصد آهک خاک (۳/۵ درصد)، درصد رطوبت خاک (۰/۸ درصد)، درصد شوری خاک (۱۵/۳ درصد) و درصد شن خاک (۲۰/۴ درصد) کاهش می‌یابد.

همچنین مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده از نتایج شکل ۴ بخش‌های (d)، (c) و (f) نشان می‌دهد که با افزایش درجه شیب، کاهش ارتفاع از سطح دریا و افزایش رطوبت منطقه، میزان درصد کربن آلی خاک (۱۹/۱ درصد)، درصد رس خاک (۰/۸ درصد) و درصد سیلت خاک (۰/۸ درصد) افزایش می‌یابد.

نتایج شکل ۴ بخش (g) نشان می‌دهد که با افزایش شیب از سطح اول به سطح سوم، وزن ریشه گیاه وتیور

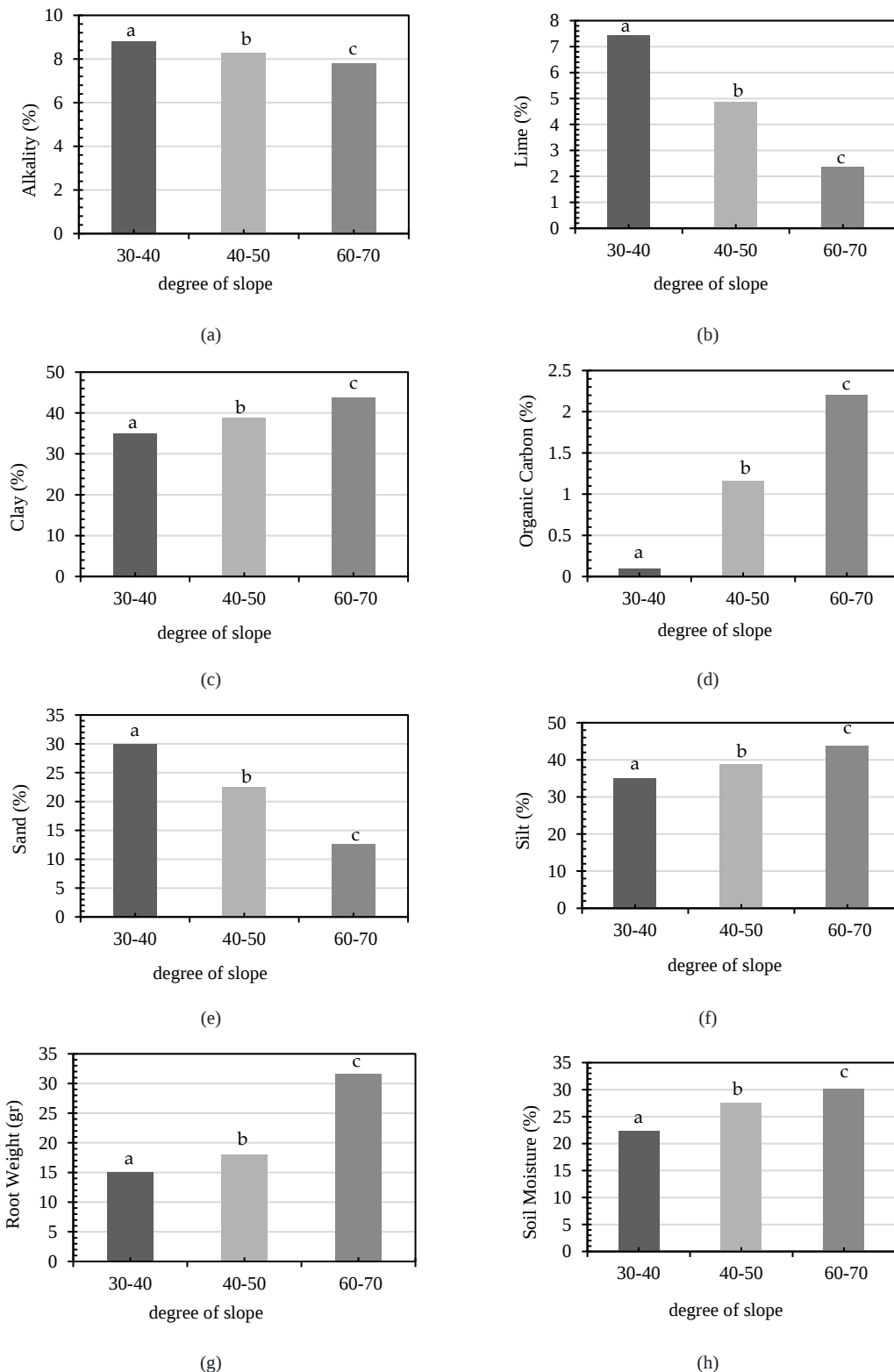
در نهایت، نتایج حاصل از مقایسه میانگین در شکل ۴ بخش (k) بیانگر آن است که با افزایش شیب و حداکثر میزان تنش برشی (۱۶/۴ کیلوپاسکال)، مقاومت برشی ریشه گیاه وتیور در خاک حدود ۲۵/۹۵ درصد افزایش یافته است. این نتایج مؤید آن است که گیاه وتیور در شرایط شیب‌دار عملکرد مؤثری در افزایش پایداری خاک دارد.

به‌طور معناداری افزایش پیدا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که گیاه با افزایش وزن ریشه، ایستایی و سازگاری خود را حدود ۲۵/۹ درصد افزایش می‌دهد. افزون بر این، مقایسه میانگین داده‌های وزن عصاره ریشه گیاه وتیور (شکل ۴-i) نیز نشان می‌دهد که با افزایش شیب خاک، کاهش ارتفاع از سطح دریا و افزایش رطوبت منطقه، وزن عصاره ریشه حدود ۲۱/۹ درصد افزایش می‌یابد.

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین درصد ویژگی‌های خاک، تنش برشی مستقیم خاک، وزن ریشه و وزن عصاره گیاه وتیور

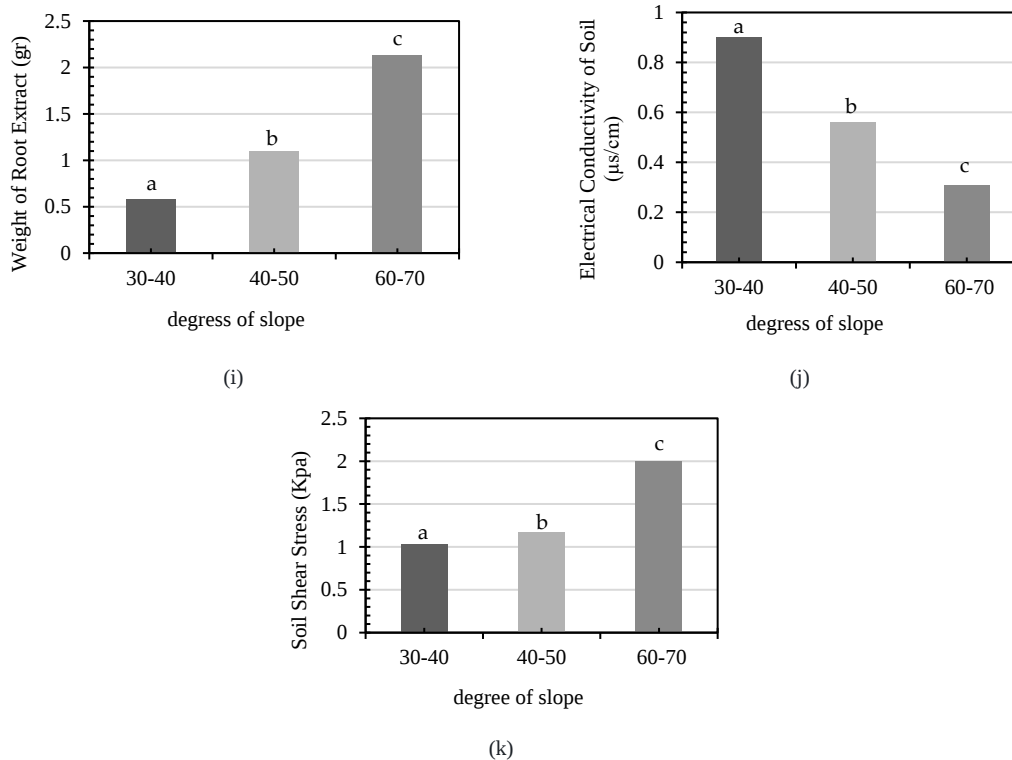
Table 1. Result of one-way ANOVA of the average percentage of soil factors, shear stress, root weight and vetiver plant extract weight

Source of Variation The third level (slope 60-70 degrees) Second level (slope 40-50 degrees) First level (slope 30-40 degrees)	Sum of squares	df	Mean square	F F-statistic	Sig.
pH	1.471	2	.736	272.481	.000
	1.586	2	.868	386.291	.000
	1.607	2	.975	402.193	.000
OC	7.179	2	3.590	75.116	.000
	5.634	2	2.961	60.684	.000
	3.972	2	1.745	4.9123	.000
TVN	38.610	2	19.305	93.733	.000
	41.098	2	20.403	95.657	.000
	42.958	2	22.901	96.980	.000
CLAY	113.387	2	56.693	411.252	.000
	112.487	2	56.126	410.935	.000
	110.487	2	55.392	410.491	.000
SILT	113.387	2	56.693	411.252	.000
	112.487	2	56.693	410.935	.000
	111.488	2	55.736	410.784	.000
K	.000	2	.000	.	.
	.000	2	.000	.	.
	.000	2	.000	.	.
MOISTURE	96.534	2	48.267	37.707	.000
	98.025	2	49.395	38.891	.000
	98.955	2	49.998	39.175	.000
EC	.515	2	.258	63.679	.000
	.782	2	.198	62.876	.000
	.843	2	.177	61.921	.000
SAND	457.020	2	228.510	394.527	.000
	673.522	2	485.021	425.510	.000
	864.749	2	560.002	617.258	.000
Root weight	471.001	2	235.500	6.734	.029
	361.277	2	200.428	6.338	.018
	202.439	2	189.954	4.126	.003
Extract weight	3.706	2	1.853	27.904	.001
	2.521	2	1.725	26.743	.000
	1.916	2	0.991	24.419	.000
SHEAR STRESS (T)	0.001	2	.001	21	.002
	0.001	2	.001	21	.000
	0.000	2	.000	0	.000



شکل ۴- (a)، (b)، (c)، (d)، (e)، (f)، (g)، (h)، (i)، (j) و (k) به ترتیب نتایج حاصل از مقایسه میانگین قلیائیت، درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد رس، درصد سیلت، درصد رطوبت خاک، وزن ریشه گیاه وتیور، هدایت الکتریکی خاک، وزن عصاره ریشه گیاه وتیور و تنش برشی خاک در سه سطح با استفاده از آزمون دانکن

Fig. 4. (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j) and (k) respectively the results From the comparison of average alkalinity, percentage of lime, percentage of organic carbon, percentage of clay, percentage of silt, percentage of sand, percentage of soil moisture, vetiver root weight, soil electrical conductivity, vetiver root extract weight and soil shear stress in three levels using the test Duncan's



ادامه شکل ۴
Fig. 4. Continued

نیز نشان می‌دهد که نیروی برشی خاک در سطح اول کمتر از سطوح دوم و سوم است. در واقع، گیاه به‌منظور ایجاد مقاومت برشی کافی در برابر میزان تنش وارده، وزن ریشه خود را متناسب با آن افزایش می‌دهد. بنابراین، وزن ریشه‌های گیاه وتیور از سطح اول به سطح دوم و سپس به سطح سوم افزایش می‌یابد و این افزایش با تنش برشی خاک رابطه مستقیم دارد (جدول ۲).

در نهایت، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که علت افزایش یا کاهش میزان عصاره گیاهان در ارتفاعات و دامنه‌های شیب‌دار به میزان توانایی و سازگاری آنها با شرایط محیطی بستگی دارد. پتانسیل بالای گیاه وتیور در افزایش مقاومت برشی خاک، دلیلی قاطع بر عملکرد هوشمندانه آن در برابر تنش‌های محیطی است.

Jamshidi et al., Azarnivand et al., (2018) (2005) و Samsam Shariat et al., (2005) نیز بر این نکته تأکید دارند که بین ترکیبات مؤثره و اسانس گیاهان دارویی تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف، مدیریت بهره‌برداری، و مراحل رشد گیاه، تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد.

با توجه به اینکه تنها برخی از گیاهان قادرند با افزایش ارتفاع از سطح دریا، متابولیت‌های ثانویه خود را افزایش دهند (Polaki Khoshkroudi et al., 2023)، در این پژوهش، علاوه بر عامل ارتفاع، فاکتورهای مؤثر دیگری نظیر درجه شیب، مقاومت برشی خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز در نظر گرفته شده‌اند. در شیب‌های مختلف دیواره جانبی مخزن سد سنگر، سیستم ریشه‌های گیاه وتیور به‌طور قابل‌توجهی و متناسب با تنش برشی وارده (۱۶/۴ کیلوپاسکال)، تراکم ریشه‌های (RAR) را افزایش می‌دهد. بنابراین، وجود ریشه‌های گیاه وتیور موجب افزایش چسبندگی خاک (۱۹۰ درصد)، کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک (۷۷/۳۹ درصد) و در نهایت، افزایش مقاومت برشی خاک (۲۵/۹۵ درصد) می‌شود.

بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از جدول ۲، نوع عملکرد و رشد گیاه وتیور در پاسخ به تنش‌های محیطی کاملاً قابل درک است. در سطح اول (شیب ۳۰-۴۰ درجه)، وزن ریشه گیاه نسبت به سطح دوم (۴۰-۵۰ درجه) و سطح سوم (۶۰-۷۰ درجه) کمتر است. همچنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری تنش برشی خاک

استان مازندران، (2016) Arianfar et al., درباره گونه‌های *Artemisia aucheri* Boiss و *Artemisia sieberi* Besser در مراتع خراسان جنوبی، و همچنین Truong and Baker, (1998) درباره گونه آفسنطین در منطقه سوادکوه که همگی اظهار داشتند با افزایش ارتفاع، بازده و مقدار اسانس گیاهان کاهش می‌یابد.

از سوی دیگر، نتایج این پژوهش با یافته‌های برخی از پژوهش‌های پیشین مغایرت دارد؛ از جمله Haider et al., (2009) درباره کاهش بازده اسانس گونه *Artemisia roxburghiana* در مراتع رشته‌کوه هیمالیا، Azarnivand et al., (2010) در مورد اسانس گیاه بومادران *Achillea millefolium* در رویشگاه سیاه‌بیشه

جدول ۲- نتایج حاصل از اندازه‌گیری نیروی برشی خاک و وزن ریشه گیاه وتیور

Table 2. The results of soil shear stress and vetiver plant weight

Source of Variation	First level (slope 30-40 degrees)	Second level (slope 40-50 degrees)	The third level (slope 60-70 degrees)
Root weight (gr)	1.13	1.46	1.55
	2.20	2.24	2.37
	2.36	2.64	2.67
SHEAR STRESS (Kpa)	0.6	0.7	1.1
	1.4	1.6	2.4
	2	2.3	2.8

همچنین بین میزان تغییرات درجه شیب در دامنه‌های جانبی مخزن سد سنگر (استان گیلان) و وزن ریشه‌های گیاه وتیور، با ویژگی‌های خاک شامل اسیدیته، کربن آلی، آهک، رس، شن، سیلت، رطوبت، هدایت الکتریکی و نیز با تنش برشی خاک، همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ($p \leq 0.01$) وجود دارد (جدول ۳).

تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های خاک، وزن ریشه، و وزن عصاره گیاه وتیور در جدول ۳، نشان می‌دهد که بین ویژگی‌های خاک نظیر اسیدیته، کربن آلی، آهک، رس، شن، سیلت و رطوبت با وزن ریشه و وزن عصاره ریشه گیاه وتیور در منطقه سد سنگر، رابطه‌ای معنی‌دار وجود دارد. در مقابل، فاکتور پتاسیم خاک با این دو شاخص ارتباط معنی‌داری نشان نمی‌دهد.

جدول ۳- تجزیه واریانس تعیین میزان همبستگی بین ویژگی‌های خاک، تنش برشی مستقیم خاک و میزان وزن ریشه و وزن عصاره گیاه وتیور

Table 3. Result of Bivariate -Pearson correlation between soil factors, shear stress and root weight and vetiver plant extract weight

Source of variation		pH	OC	TVN	Clay	Silt	K	Moisture	EC	Sand	T
Root weight (gr)	Pearson Correlation	-.768*	.802**	-.843**	.842**	.842**	a	-.903**	-.757*	-.842**	.784*
	Sig. (2-tailed)	.016	.009	.004	.004	.004	.	.001	.018	.004	.012
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Extract weight (gr)	Pearson Correlation	-.932**	.906**	-.926**	.952**	.952**	a	-.904**	-.901**	-.950**	.934**
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.000	.000	.	.001	.001	.000	.000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
ROOT $\times$ Slope The mutual effect of slope degree on root weight	Pearson Correlation	-.898**	.915**	-.939**	.950**	.950**	a	-.973**	-.873*	-.950**	.913**
	Sig. (2-tailed)	.001	.001	.000	.000	.000	.	.000	.000	.000	.001
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). a. Cannot be computed because at least one of the variables is constant. * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

(2007) در خصوص تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر ویژگی‌های کمی و کیفی گونه *Achillea millefolium*

مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های مطالعات پیشین نظیر پژوهش (Ghavam Arabian)

درجه شیب را درک کرده و سیستم ریشه‌ای خود را برای سازگاری با این تغییرات تقویت می‌کند. سازگاری این گیاه در شرایط افزایش تنش برشی خاک به گونه‌ای است که فعالیت زیستی و ترکیبات شیمیایی آن متناسب با نیاز تغییر می‌کند. وزن ریشه‌ها و وزن عصاره گیاه وتیور در سطوح شیب ۴۰-۳۰ درجه، ۵۰-۴۰ درجه و ۷۰-۶۰ درجه به ترتیب افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که ویژگی‌های خاک در یک منطقه با تغییر درجه شیب دامنه تغییر می‌کند و با تغییر ویژگی‌های خاک، نیروی برشی خاک نیز متغیر است.

تراکم ریشه‌ای گیاه وتیور (RAR) با افزایش نیروی تنش برشی (۱۶/۴ کیلوپاسکال) افزایش می‌یابد. وجود ریشه‌های گیاه وتیور باعث افزایش چسبندگی خاک به میزان ۱۹۰ درصد، کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک تا ۷۷/۳۹ درصد و افزایش مقاومت کششی خاک در بازه ۴۷ تا ۱۱۸ مگاپاسکال می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درجه شیب از ۴۰-۳۰ درجه به ۷۰-۶۰ درجه، میزان نیروی برشی خاک افزایش یافته و گیاه وتیور متناسب با این تنش، فعالیت زیستی و تراکم ریشه‌های خود را افزایش می‌دهد.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین مقدار ترکیبات شیمیایی و ساختاری ریشه‌های گیاه وتیور در سطح سوم با شیب ۷۰-۶۰ درجه، همراه با بیشترین وزن و تراکم ریشه‌ها مشاهده شده است. با توجه به توانایی گیاه وتیور در مهار تغییرات شیب در دامنه‌های شیب‌دار، پیشنهاد می‌شود این گیاه در مراتع شیب‌دار، اراضی ساحلی شیب‌دار، دیواره‌های جانبی مخازن آب و سایر اراضی شیب‌دار، در پروژه‌های مرتعداری و آبخیزداری جهت حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش، لغزش و فرونشست خاک کشت شود.

تشکر و قدردانی

از افرادی که در انجام این پژوهش همکاری داشته‌اند، اعم از مدیران و کارشناسان تسهیل کننده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و دانشگاه علوم پزشکی مازندران و حمایت مالی و در اختیار قرار دادن آزمایشگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

مطالعه (Mohammadnejad Ganji, 2014) بر گونه *Rosmarinus officinalis L*، پژوهش (Dehghani Bidgoli, 2012) بر گونه درمنه، بررسی (Mahdavi et al., 2014) بر گونه *Tanacetum polycephalum*، پژوهش (Aghaabbasi and Bibak, 2015) بر گونه *Heracleum anisactis*، مطالعه (Mahdavi and Rahmani, 2015) بر گونه *Stachys lavandulifolia* هم‌راستا بوده و مؤید وجود ارتباط معنادار و مؤثر بین ارتفاع از سطح دریا و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی است؛ به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع، میزان اسانس و بازده آن افزایش می‌یابد.

همچنین نتایج این پژوهش با یافته‌های (Akramian et al., 2017) درباره تأثیر ریشه گیاه گز بر افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک در حاشیه رودخانه کشف‌رود، پژوهش (Roshan Nasab et al., 2021) درباره تأثیر مقاومت برشی گونه‌های درختی بر پایداری کناره‌های رودخانه بشار، و پژوهش (Hoque et al., 2022) پیرامون تأثیر ریشه‌های گیاه وتیور بر مقاومت برشی سه‌محوری و بدون چسبندگی خاک نیز مطابقت دارد.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که در دامنه‌های جانبی مخزن سد سنگر (استان گیلان)، ارتباط مؤثر و معناداری بین نیروی برشی خاک و حضور ریشه‌های گیاه وتیور وجود دارد. در واقع، افزایش مقاومت برشی خاک نتیجه اثر متقابل بین شیب دامنه، وزن ریشه‌های گیاه وتیور، ویژگی‌های خاک، و نیروی برشی حاکم بر منطقه است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که با افزایش شیب خاک در دامنه‌های جانبی مخزن سد سنگر - گیلان، میزان کربن آلی، سیلت، رس خاک، وزن ریشه و وزن عصاره ریشه گیاه وتیور افزایش می‌یابد؛ در حالی که برخی ویژگی‌های خاک مانند اسیدیته، شوری، درصد شن، میزان رطوبت و آهک کاهش می‌یابند. بنابراین، ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین وزن ریشه و وزن عصاره گیاه وتیور با میزان کربن آلی، سیلت و رس خاک وجود دارد. گیاه وتیور (*Chrysopogon zizanioides*) تغییرات

منابع مورد استفاده

- Aghaabbasi, K., Bibak, H., 2015. The effect of elevation on essence of medicinal plant, *Descurainia sophia* (L.) in natural growth places of Kerman's Province. *J. Biol. Today's World* 4(4), 90-94.
- Akramian, M., Dastorano, M.T., Farzam, M., Abdi, E., 2017. Investigating the causes of erosion in increasing the adhesion and shear strength of the soil on the side Kashf River. *J. Watershed Engin. Manage.* 11(2), 328-335.
- Alipour, N., Mahdavi, Kh., Mahmoudi, J., Qalichnia, H., 2011. Investigating the effect of environmental conditions on the quantity and quality of *Stachys laxa* essential oil. *Plant Res. J. (Iran. Biol. J.)* 28(3).
- Arianfar, M., Akbari Nodehi, D., Hemti, Kh., Rostampour, M., 2016. The effect of height and direction on the yield of essential oil and some phytochemical properties of medicinal species *Artemisia aucheri* Boiss and *Artemisia sieberi* Besser in South Khorasan pastures. *Sci. Res. J. Marta.* 12(3), 281-294.
- Asgari, E., Talebi, A., Kiani-Harhegani, M., Amanian, N., 2023. Comparison of the effect of vetiver vegetation cover and surface rock fragment on runoff and soil loss in a convex-parallel hillslope under. Laboratory Conditions. *Eco. Hydrol.* 10(3), 335-353.
- Asgari, E., Talebi, A., Kiani-Harhegani, M., Amanian, N., 2024. The effect of vetiver plant on runoff reduction and soil loss in parallel-convex and concave hillslopes in laboratory conditions. *Iran-Watershed Manage. Sci. Engin.* 17(63).
- Azadbakht, M., Davoodi, A., Hosseinimehr, J., Emami, M., Azadbakht, M., 2021. Phytochemical profiles, physicochemical analysis, and biological activity of three *Colchicum* Species. *Jundishapur J. Nat. Pharm. Prod.* 16(2), e98868.
- Azarnivand, H., Ghavam Arabani, M., Sefidkon, F., Tavili, A., 2010. The effect of ecological characteristics on quality and quantity of the essential oils of *Achillea millefolium* L. subsp. *Millefolium* Iran. *J. Medicin. Aromatic Plants* 25(4), 556-571.
- Azarnivand, H., Qavam, M., Whitener, F., Tavali, A., 2018. Investigating the effect of ecological characteristics (soil and altitude) on the quantity and quality of *Achillea Mellefolium* flower and leaf essential oil. *Mellefolium L. Sub Sp. Res. Medicin. Aroma. Plants Iran* 1(4), 556-571.
- Dehghani Bidgoli, R., 2012. Comparison of the effect of some ecological and grazing parameters on the quantity and quality of essential oils of *Artemisia sieberi* and *Artemisia aucheri* species in steppe and semi steppe rangelands of Isfahan province. Ph.D. Thesis of Range Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Ghadampur, A., Sharifi, F., Bahrami, H., 2012. Investigating the effects of Vetiver root density in soil erosion control using in situ and laboratory direct cutting experiments. Thesis. Ministry of Science and Technology Tarbiat Modares University-Faculty of agriculture and Natural. Resources.
- Ghavam Arabian, M., 2007. Investigating the effect of some ecological attributes on essential oil of *achillea milefolium*. M.Sc. Thesis of Rangeland Management, Tehran University (in Persian).
- Haghighi, S., 2019. Vetiver plant, the green line against erosion and a step in the economy (Massimo Mafi). *Mahtab Gharb, Kermanshah*, 259.
- Haider, F., Kumar, N., Banerjee, S., Naqvi, A., Baggi, G., 2009. Effect of altitude on the essential oil constituents of *Artemisia roxbourghiana* Besser Var. *Purpurascens* (Jacq) Hook. *J. Essen. Oil Res.* 21(4), 303-304.
- Hengchaovanich, D., 1998. Vetiver grass slope stabilization and erosion control. Tech. Bull. 1998/2 Pacific Rim Vetiver Network (PRVN), Office of The Royal Projects Development Project Board (RDPB), Bangkok, Thailand.
- Hoque, I.L., Shariful Islam, M., Hoque, E., 2022. Effect of Vetiver root on triaxial shear Strength of a cohesionless soil. *Geomechan. Geoengin.* 17(3).
- Jafari Haghighi, M., 2002. Soil analysis methods, sampling and important physical and chemical analyzes with emphasis on theoritecal and practical principles. Publishers of Neday Zoha. 240.
- Jamshidi, A., Aminzadeh, M., Azarnivand, H., Abedi, M., 2005. The effect of altitude on the quantity and quality of essential oil of mountain thyme plant. *Quart. J. Medicin. Plants.* 8, 53-86.
- Jones, D.L., Hodge, A., Kuzyakov, Y., 2004. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytol.* 163, 459-480.
- Khaleghi, S., Nusrati, K., Abbaspour, R., 2019. Estimation of soil erosion and sediment transport in the upstream of Badavar watershed of Lorestan using SWAT model. *Quantita. Geomorphol. Res.* 9(3), 186-202.
- Khatouni, N., Kolahi, M., 2021. Investigating the role and function of pastures in the field of water. *J. Water Sustain. Develop.* 8(2), 91-104.
- Omidbeigi, R., 2009. Approaches to the production and processing of medicinal plants, the fifth edition. Published by Mashhad, 400 pages.
- Maffei, M., 2001. Evidence for a C4 NADP-ME photosynthetic pathway in *Vetiveria zizanioides* Stapf. *Plant Biosys.* (in Press).

- Maffei, M., Codignola, A., Fieschi, M., 1988. Photosynthetic enzyme activities in lemongrass cultivated in temperate climates. *Biochemi. System. Ecol.* 16, 263-264.
- Mahdavi, M., Jouri, M.H., Mahmoudi, J., Rezazadeh, F., Mahzooni-Kachapi, S.S., 2014. Investigating the altitude effect on the quantity and quality of the essential oil in *Tanacetum polycephalum* Sch.-Bip *polycephalum* in the Baladeh region of Nour, Iran. *Chine. J. Nat. Medicin.* 11(5), 553-559.
- Mahdavi, M.B., Rahmani, V., 2015. The effects of ecologic and habitational factors on the essence quality of *Stachys lavandulifolia* Vahl. in north Khorassan Province. *Int. J. Farm. Allied Sci.* 4(5), 448-456.
- Mohammadnejad Ganji, S.M., Moradi, H., Ghanbari, A., Akbarzadeh, M., 2014. Investigating the elevation effect on the essential oil qualitative and quantitative of *Rosmarinus officinalis* L. in two regions of Mazandaran Province. *Eco-phytochem. J. Medici. Plants* 2(1), 42-36 (in Persian).
- Mohsenipour Soumesarai Monastery, H., Najafinejad, A., Hossein Alizadeh, M., Frouze, M., Parsakho, A., 2019. The role of vegetation in the stability of landslides (case study: Tuskestan-Chaharbagh road, Golestan Province). *J. Water Soil Conserv. Res.* 27(5), 185-200.
- Nosrati, K., Rostami, M., Azarpai Kiwi, M., 2021. Estimating the risk of erosion along Taleghan River using the BEHI model. *Sci. Res. J. Nat. Environ. Hazards* 9(26).
- Polaki Khoshkrou, R., Bagheri, N.A., Babaeian Jelodar, N.A., 2023. Effect of altitude on some secondary metabolites of the medicinal plant (*Sambucus ebulus* L.) in three different habitats of Mazandaran Province. *Plant Proce. Funct.* 21(65).
- Roshan Nasab, F., Mirzaei, M.R., Khazaei, M., 2021. Quarterly journal of Environmental Erosion Research. <https://Magazine.Hormozgan.ac.ir>.
- Samsam Shariat, A.H., 2007. Extraction and extraction of effective substances of medicinal plants. *Mani. Publica.* 258.
- Sharifi, F., Ghadampour, A., Bahrami, R., 2013. Investigating the effects of vetiver root density in soil erosion control using in situ and laboratory direct cutting experiments. Thesis. Ministry of Science and Technology, Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture and Natural Resources.
- Sodaii Zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady Maibody, A.M., Hakim Zadeh, M.A., 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *satureja hortensis*. *Plant Process Func.* 5(15). 1-12.
- Truong, P.N.V., Baker, D.E., 1998. Vetiver grass system for environmental protection. *Tech. Bull.* 1998/1, Pacific Rim Vetiver Network (PRVN) Office of the Royal Projects Development Board (RDPB), Bangkok, Thailand.