



Introducing suitable plant species for rill erosion control

Shadi Jalilian^{1*}, Seyed Pedram Nainiva², Shabnam Jalilian³

¹ Ph.D. Student, Department of Forest management, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Golestan, Iran

² Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Golestan, Iran

³ MSc. Student, Department of Soil Science, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

Abstract

Introduction

The distribution and development of human societies due to the increasing need for infrastructure development has always been associated with a decrease in vegetation and as a result led to landscape changes, soil erosion, and soil instability. In this regard, the rill detachment capacity is a key factor in concentrated flow erosion. Rill erosion generally turns into gully erosion with severe environmental impacts. To this end, its control is highly important in landscape management and conservation. However, the effects of different vegetation species on topsoil resistance against concentrated flow erosion are much less studied. In the other hand, soil erosion has a direct relationship with vegetation and the prominent effect of plant communities is due to its protective properties against rain drops. Due to the interception of raindrops by the canopy and the plant bodies, it reduces the kinetic energy of raindrops, and due to the organic carbon in the soil, it causes the formation of sticky aggregates, which results in soil protection against detachment of particles. Towards this, the current study was conducted to introduce some of the suitable species to control rill erosion.

Materials and Methods

This study is a review of research conducted in the field of reducing and controlling rill erosion, biologically. Therefore, through a deep literature review and considering climatic and environmental criteria, the most suitable plants in order to reduce and control the rill erosion have been introduced. The biological characteristics affecting the reduction of rill erosion, including the continued importance of vegetation stems, canopy and roots in controlling soil erosion, were discussed. Strength resistances in controlling soil erosion were discussed and then issues related to climate adaptation were examined. Finally, after the process of determining suitable species to reduce rill erosion, the list and characteristics of suitable plant species in controlling rill erosion were presented and described.

Results and Discussion

The suitable plant species introduced to soil erosion control according to the canopy importance, stress, and climatic resistance were included *Vetiveria zizanioides*, *Tamarix*, *Populus uphratica* Olive, *Haloxylon*, *Parrotia persica*, *Diospyros lotus*, *Medicago spp*, *Olea europaea*, *Platanus orientalis*, *Cercis siliquastrum*.



Conclusion

The introduced species can be used by examining their compatibility with the specific regional. Considering the results of this study and the importance of problems caused by soil erosion, general recommendations including diagnosis and evaluation of the efficiency of established tree species have been presented. Explaining the positive and negative consequences of planting and rehabilitating them, collecting information about tree species suitable for reducing and controlling other forms of erosion, their ecological characteristics in order to prevent and reduce erosion have been examined. Identifying areas prone to rill erosion and explaining the bioengineering strategy is necessary to prevent the destruction of forest and rangeland cover, and increase planting, rehabilitation and establishment of suitable plant species. It is also recommended to strengthen biological measures such as buffer establishment, coastal strips, seeding, sowing, cutting, planting, vegetation and implementation of conservation plans and enclosure of pastures and forests. characteristics, to take advantage of biological methods to reduce erosion. The results of the present study can be applied in areas suffering from rill and gully erosion.

Keywords: Bioengineering, Concentrated Flow, Soil Degradation and Loss, Vegetation.

Article Type: Technical Article

Citation: Jalilian, Sh., Nainiva, S.P., & Jalilian, Sh. (2021). Introducing suitable plant species for rill erosion control. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 68-85.

*Corresponding Author, E-mail: shadijalilian59@gmail.com

Water and Soil Management and Modeling, 2021, Vol. 1, No. 2, 68-85

DOI: [10.22098/mmws.2021.9231.1028](https://doi.org/10.22098/mmws.2021.9231.1028)

Received: 17 July 2021; Accepted: 03 August 2021

© Authors





معرفی گونه‌های گیاهی مناسب مهار فرسایش شیاری

شادی جلیلیان^{۱*}، سید پدram نیو^۲، شنم جلیلیان^۳

^۱ دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
^۲ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

چکیده

گسترش و توسعه جوامع بشری به واسطه افزایش نیاز به توسعه زیرساخت‌ها همواره با کاهش میزان پوشش گیاهی و در نتیجه ایجاد تغییرات در سیمای سرزمین و به‌ویژه عامل اساسی در وقوع فرسایش خاک و افزایش انواع ناپایداری در خاک همراه بوده است. عمده پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که استفاده کارآمد از پوشش گیاهی سبب افزایش مقاومت و پایداری و کاهش میزان فرسایش خاک می‌شود. در این راستا، انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای مهار فرسایش خاک و همچنین انتخاب ترکیبی از گونه‌ها از مسائل مهم است. فرسایش شیاری یکی از اشکال بارز فرسایش‌های آبی به‌شمار می‌رود که علاوه بر تخریب خاک سبب ایجاد شرایط نامطلوب برای استقرار گیاهان می‌شود. لذا، پژوهش حاضر با هدف آشنایی بیشتر در زمینه فرآیند فرسایش شیاری و گونه‌های مناسب و دارای پتانسیل برای مهار آن صورت گرفت. گونه‌های گیاهی مناسب معرفی شده در این پژوهش با توجه به معیارهای اهمیت تاج پوشش، ریشه، ساقه، مقاومت تنشی و اقلیمی شامل *Populus uphratica Oliv.* *Tamarix* *Vetiveria zizanioides* *Cercis siliquastrum* *Platanus orientalis* *olea europaea* *Medicago spp.* *Diospyros lotus* *Parrotia persica* *Haloxylon* است که می‌توان آن‌ها را پس از بررسی میزان سازگاری با ویژگی‌های منطقه مورد نظر و به‌منظور بهره‌گیری از روش‌های زیستی با هدف کاهش فرسایش استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، تخریب و هدررفت خاک، جریان‌های متمرکز، زیست‌مهندسی.

نوع مقاله: فنی و ترویجی

استناد: جلیلیان، ش.، نیو، س.پ.، و جلیلیان، ش. (۲۰۲۱). معرفی گونه‌های گیاهی مناسب مهار فرسایش شیاری. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۸۵-۶۸، (۲)۱.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shadijalilian59@gmail.com

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۲، ۶۸-۸۵.

DOI: [10.22098/mmws.2021.9231.1028](https://doi.org/10.22098/mmws.2021.9231.1028)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲

© نویسندگان



۱- مقدمه

فرسایش خاک^۱ به‌عنوان یک مشکل جهانی، یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده منابع طبیعی، کشاورزی و تخریب زمین است (Koirala et al., 2019) که شامل چهار مرحله جدایش، در برگرفتن ذرات (درون عامل حمل)، حمل و رسوب‌گذاری است. با این حال، فرسایش یک پدیده اجتناب‌ناپذیر است و مهار آن به‌طور کامل مسیر نیست (Kirkels et al., 2014)؛ هدف از حفاظت خاک^۲ عدم تخریب تدریجی در خاک است که این امر زمانی تحقق می‌یابد که سرعت هدررفت خاک از سرعت تشکیل آن بیش‌تر نباشد. بنابراین تا زمانی که میزان خاک‌زایی بیش‌تر از فرسایش باشد، مشکل محسوب نمی‌شود. به‌طور کلی فرسایش آبی از پاشمان شروع شده و با تمرکز جریان فرسایش شیاری و آب‌کندی را به وجود می‌آورد (Govers et al., 2007). به‌عبارتی دیگر، یکی از اشکال تخریب خاک توسط فرسایش آبی، فرسایش شیاری است (Hassen and Bantider, 2020). در واقع شیاریها به‌عنوان منبع تولید و انتقال رسوب در در دامنه‌های حساس به فرسایش هستند (Wirtz et al., 2010). در صورت عدم توجه و مهار به موقع ممکن است به فرسایش آب‌کندی توسعه پیدا کند (Rivas, 2006). همچنین در این راستا گیاهان دارای تراکم ساقه و ریشه زیاد برای مهار جریان‌های متمرکز بسیار مناسب هستند (Ghanavati et al., 2015). هدف از اقدامات حفاظت خاک اطمینان از این مسأله است که نحوه استفاده از زمین به گونه‌ای باشد که یک بهره‌برداری متعادل و پایدار صورت بگیرد به‌طوری‌که هیچ‌گونه تخریب تدریجی در خاک صورت نگیرد (Kardavani, 2015). از سویی فرسایش خاک رابطه مستقیمی با پوشش گیاهی دارد و اثر برجسته جوامع گیاهی به‌واسطه خاصیت حفاظتی آن در مقابل برخورد قطرات باران است و به‌دلیل ربایش قطرات باران توسط تاج پوشش و گیاه سبب کاهش انرژی جنبشی آن و به‌دلیل کربن آلی موجود در خاک سبب پدید آمدن خاک‌دانه‌های چسبیده می‌شود که نتیجه آن حفاظت خاک است (Firoozi et al., 2016). بررسی‌ها نشان داده است که سطح زمین‌های با فرسایش بسیار شدید از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از چهار به هشت درصد افزایش پیدا کرده است (Aslam et al., 2020).

انتخاب گونه مناسب باید با توجه به عواملی مانند ویژگی‌های اقلیمی، خاک‌شناسی و فیزیوگرافی مناطق مورد مطالعه انجام شود (Shahrivar and Khazaei, 2017). همچنین مسئله مهم در انتخاب گونه گیاهی مناسب در راستای مهار فرسایش، توجه به

تنوع گونه‌ای است، این امر به‌ویژه در مناطقی که دارای خاک و آب و هوای متغیر هستند اهمیت زیادی دارد، به‌طوری‌که انتخاب گونه گیاهی باید با دقت زیادی صورت بگیرد (Yazdanpanah and Mahmoudabadi, 2010). از دیگر روش‌های مهار فرسایش شیاری می‌توان به انجام عملیاتی مانند شخم عمود بر شیب و افزایش ظرفیت رطوبت خاک از طریق بهبود مواد آلی و استقرار پوشش گیاهی اشاره کرد (Wirtz et al., 2013). به‌عبارت دیگر، اصلی‌ترین راهکار مقابله با فرسایش و کاهش اثرات تخریبی آن، احیاء و استقرار پوشش گیاهی است، زیرا علاوه بر کارایی بیش‌تر نسبت به سایر روش‌ها، هزینه کم‌تری نیز دارد (Liu et al., 2019). از طرفی وجود پوشش گیاهی با کاهش سرعت جریان‌های سطحی و در نتیجه فرسایش خاک سبب کاهش سیلاب‌های تخریب‌کننده خواهد شد و به‌عنوان یکی از روش‌های حفاظت از فرسایش در مناطق سیل‌خیز محسوب می‌شود (Masjedi and Fathi Moghadam, 2009).

عملیات زیستی در خاک‌هایی که هنوز به مرحله بحرانی از نظر فرسایشی نرسیده‌اند و امکان استقرار و احیاء پوشش گیاهی بدون بهره‌گیری از عملیات پشتیبانه‌ای سازهای ممکن باشد، به مرحله اجرا می‌رسد (Armin et al., 2019). لذا در دهه‌های اخیر بهره‌گیری از پوشش گیاهی، به‌عنوان یکی از شیوه‌های زیست‌مهندسی^۳ بسیار مورد توجه قرار گرفته است که از مزایای این روش می‌توان به افزایش پایداری شیب‌ها با گذشت زمان و تجدید حیات طبیعی اشاره نمود (Hubble et al., 2010). مهم‌ترین عامل موفقیت طرح‌های زیست‌مهندسی، انتخاب گونه گیاهی مناسب است. گونه انتخابی باید سازگار با شرایط منطقه باشد، لذا استفاده از گونه‌های بومی هر منطقه در اولویت است (Bischetti et al., 2009). با این حال نوع فرآیند فرسایشی نیز در انتخاب گونه مناسب مؤثر است.

Casermeiro et al. (2004) به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی و مقدار ماده آلی اثر به‌سزایی در مهار فرسایش خاک دارند. همچنین، Cerdà (2007) به این نتیجه رسیدند که مقدار فرسایش خاک روی ترانشه‌های بدون پوشش گیاهی در مقایسه با ترانشه‌های دارای پوشش گیاهی به میزان ۳۰ درصد بیش‌تر است. (De Baets et al., 2009) برای انتخاب گیاهان مناسب به‌منظور مهار فرسایش شیاری، چهار نوع ویژگی گیاهان شامل مقاومت نسبت به خم شدن در مقابل جریان آب، توانایی به دام انداختن رسوب و بقایای آلی، تراکم ساقه برای مهار فرسایش را برای ۲۰ گونه گیاهی مورد آزمایش قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که از میان گونه‌های مورد بررسی، سه گونه

¹ Soil Erosion² Soil Conservation³ Bioengineering

کوهمیان-آزادشهر پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که اثر پوشش گیاهی ترانشه به‌طور مثبت معنی‌دار است.

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب مهار فرسایش به مطالعه دقیق عواملی مانند استحکام گیاهی، بررسی پتانسیل گیاهان برای بهبود شیب و انسداد رسوب و بقایای آلی نیاز دارد (De Baets et al., 2009). باید توجه داشت که در صورت وقوع فرسایش خاک بشر شاهد افزایش سیل‌خیزی، تخریب شیمیایی در خاک، کاهش نفوذپذیری زمین، کاهش تغذیه سفره‌های زیرزمینی، ایجاد شیار، آب‌کند و گودال در اراضی کشاورزی و پرهزینه و دشوار شدن آن، از بین رفتن خاک سطحی حاصل‌خیز و ایجاد فقر غذایی و کاهش پوشش گونه‌های درختی و مرتعی و همچنین رسوب ماسه‌های روان و ایجاد تهدیدی جدی برای مناطق مسکونی، کشاورزی و صنعتی خواهد بود (Shrestha et al., 2004). به‌عبارتی دیگر، یکی از مهم‌ترین پیامدهای فرسایش خاک از بین رفتن خاک و کاهش مواد مغذی و حاصل‌خیزی آن است (Evans et al., 2010). بنابراین پژوهش حاضر با هدف معرفی گونه‌های گیاهی مناسب برای کاهش و مهار بیش‌تر فرسایش خاک انجام پذیرفت. نتایج به‌دست آمده به‌عنوان رویکردی زیستی در مهار فرسایش شیب با استفاده از پوشش گیاهی بومی مناطق مختلف قابلیت استفاده دارد.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه کاهش و مهار فرسایش شیب به روش زیستی است. لذا سعی شده است با بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه مناسب‌ترین گیاهان در راستای کاهش فرسایش معرفی شوند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- فرآیند فرسایش شیب

به فرآیند جدا شدن و انتقال رسوب در کانال‌های باریک و نیز دارای ویژگی فرسایش‌پذیری، به‌وسیله جریان متمرکز آب، فرسایش شیبی گفته می‌شود (Zhang et al., 2008). جریان متمرکز مهم‌ترین عامل وقوع فرسایش شیبی است (Parhizkar et al., 2020). پیدایش جریان‌های متمرکز آب در زمین‌های شیب‌دار به‌دلیل به‌هم پیوستن جریان‌های سطحی پراکنده است که در اثر افزایش شدت بارندگی نسبت به‌سرعت نفوذ آب رخ می‌دهد. زمانی که در محلی از مسیر جریان، نیروی برشی جریان نسبت به مقاومت خاک بیش‌تر شود، سبب برداشته‌شدن و انتقال ذرات خاک از مسیر جریان می‌شود و به‌واسطه آن سبب پدیدار شدن شیارهایی در مسیر جریان خواهد شد که همان فرسایش

Salsola و *Lygeum spartum* *Stipa tenacissima* *genistoides* به‌دلیل مقاومت بالا با توجه با متغیرهای مورد بررسی، برای مهار فرسایش شیبی انتخاب شدند. طی پژوهشی (Shit and Maiti, 2012) بیان کردند که با افزایش تراکم ریشه گیاهان، مقدار فرسایش خاک کاهش می‌یابد.

(Masjedi and Fathi Moghadam, 2009) اثر پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز را بررسی نمودند. در این پژوهش با بهره‌گیری از مدل آزمایشگاهی، ضریب زبری اندام بیرونی گیاه گز و اثر آن بر کاهش سرعت جریان تعیین شد. نتایج نشان داد که به‌دلیل بالا بودن ضریب زبری این گیاه، گونه مناسبی برای کاهش سرعت جریان و همچنین مانع فرسایش محسوب شد. همچنین، (Hosseini et al., 2012) با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش شیبی در دامنه‌های تپه ماهوری جنوب غرب شهرستان مشهد، به کمک نرم‌افزار Minitab و همچنین استقرار ترانسکت‌های ۵۰ متری، ارتباط بین عوامل تاج پوشش گیاهی، سنگ‌ریزه سطحی، پوشش سطح زمین، شیب و بافت خاک با فراوانی شیارها در واحد طول را بررسی کردند. نتایج این پژوهش حکایت از آن دارد که مؤلفه‌های پوشش گیاهی، سنگ‌ریزه سطح زمین، تاج پوشش گیاهی و همچنین میزان رس موجود در خاک با فراوانی شیار در واحد طول دارای همبستگی منفی و معنی‌دار است و مؤلفه‌های طول شیب و مقدار شیب به‌رغم ارتباط مثبت با فراوانی شیارها در واحد طول معنی‌دار نبود. همچنین این پژوهش‌گران اظهار داشتند که اولین گام در راستای مهار و کاهش پتانسیل خاک منطقه مورد نظر از منظر بروز فرسایش، مدیریت پوشش گیاهی است.

(Vaezi and Heidari, 2019) به بررسی اثر کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های جریان و فرسایش شیبی در کشت‌زار گندم دیم در منطقه نیمه‌خشک زنجان پرداختند. پژوهش به‌وسیله طرح بلوک کاملاً تصادفی و طی سه تکرار صورت گرفت و نتایج نشان داد که کاه و کلش گندم سبب کاهش معنی‌دار سرعت و قدرت جریان و فرسایش شیبی می‌شود. در ادامه، (Mohammadpour et al., 2016) چگونگی رفتار فرسایش شیبی، رواناب و غلظت رسوب در در خاک‌های خشک و مرطوب در اراضی سد گلستان را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که سرعت رواناب در تیمار مرطوب نسبت به تیمار خشک بیش‌تر است و همچنین اظهار داشتند که در دو شیار مورد بررسی تنها عامل درصد پوشش گیاهی اختلاف معنی‌دار داشته است. علاوه بر این، (Moghaddamirad et al., 2018) طی پژوهشی به ارزیابی اثر تراکم پوشش گیاهی و شناخت آن بر رواناب و هدررفت خاک فرسایش بین شیبی در ترانشه خاک‌برداری جاده جنگلی

صرفه اقتصادی و محیط زیستی به‌شمار می‌رود که دارای توانایی بازسازی و تجدید حیات به‌طور طبیعی است (Masjedi and Fathi Moghadam, 2009). هم‌چنین برنامه‌ریزی، حفاظت و احیاء حوزه آبخیز نیازمند طرح‌های ویژه‌ای برای حفاظت و احیاء اراضی باتوجه به شرایط منطقه است. به‌عبارتی دیگر، این برنامه‌ریزی باید به‌نحوی انجام شود که با نیازها و شرایط منطقه تطابق کامل داشته باشد. یکی از مهم‌ترین روش‌های حفاظت و احیاء حوزه‌های آبخیز، روش‌های زیستی است (Hosseini et al., 2007). اکثر پروژه‌های احیاء بر احیای سریع پوشش گیاهی توجه دارند و هدف اصلی این پروژه‌ها ایجاد یک بوم‌سازگان خود محافظ و مقاوم در برابر آشفستگی‌هاست. از آن‌جایی که آبخیزها دربرگیرنده اشکال مختلفی از بوم‌سازگان از جمله جنگل‌ها، مراتع و زراعت هستند، بهتر است که به‌لحاظ گوناگونی مورد بررسی قرار گیرند (Mohammadi et al., 2018) که این بررسی می‌تواند از لحاظ احیاء زیستی و تأثیر ویژگی‌های گونه گیاهی در کاهش فرسایش به‌عنوان یک آشفستگی در سطح حوزه‌های آبخیز باشد.

۳-۳-۱- اهمیت تاج پوشش در مهار فرسایش خاک

یکی از روش‌های برخورد آب باران به سطح خاک از طریق تاج‌پوشش است، که روند آن بدین‌صورت است که در اثر برخورد آب باران به درختان در زمان بارندگی، قطرات جمع شده روی برگ درخت، به یک قطره بزرگ‌تر تبدیل می‌شوند و این قطره بزرگ‌شده از روی درخت سقوط کرده و روی زمین می‌ریزد و اهمیت ساز و کار تاج بارش در فرسایش خاک به این علت است که این قطره جمع شده بزرگ‌تر از قطرات باران هنگام بارندگی و نیز دارای انرژی جنبشی بیشتری است. این مسأله سبب می‌شود که قطره در هنگام سقوط، ضربه محکم‌تری به بستر خاک وارد کند. از سوی دیگر در جنگل‌ها آب باران توسط تاج‌پوشش درختان گرفته می‌شود و از طریق قسمت‌های انتهایی با جریان گرفتن از ساقه‌ها به‌آرامی به سطح خاک هدایت می‌شود و بدین‌طریق از فرسایش خاک جلوگیری به‌عمل می‌آورند، بنابراین بیش‌ترین اهمیت تاج پوشش در کاهش فرسایش پاشمانی و ورقه‌ای است (Viville et al., 1993). به‌عبارتی از اهم کارکردهای جنگل‌ها می‌توان به اثر آن در جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک اشاره نمود (Moradmand Jalali et al., 2006).

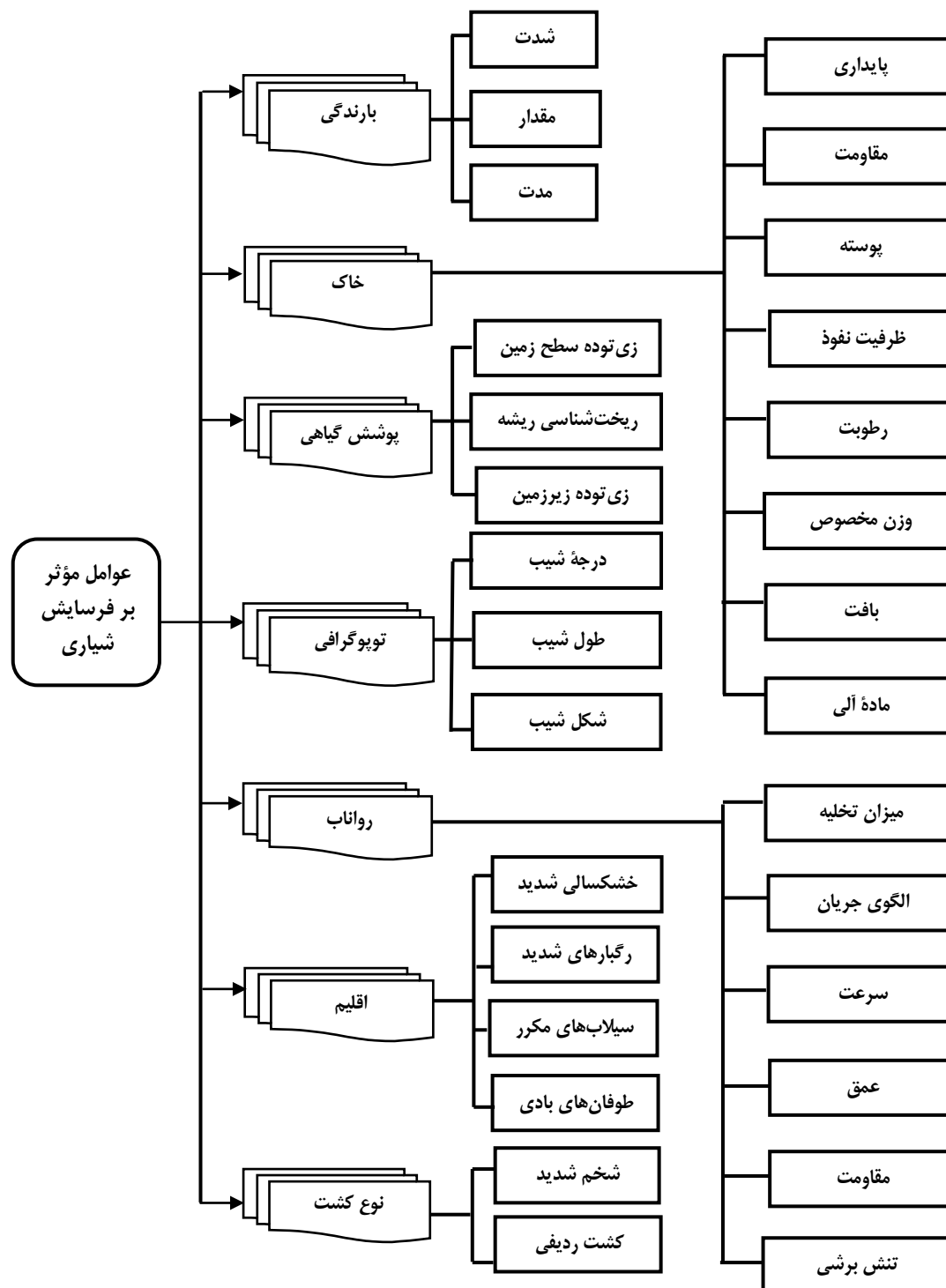
شیاری است (Zhang et al., 2008). لذا درک فرسایش شیاری برای جلوگیری از هدررفت آب و خاک بسیار ضروری است و میزان شیب و شدت بارندگی عامل مهم در گسترش آن است (Jiang et al., 2018). از طرفی مهم‌ترین عامل این نوع فرسایش، رواناب است که به‌نوعی می‌توان گفت اصلی‌ترین علت جدا شدن ذرات خاک در طی فرسایش شیاری، جریان متمرکز است و هم‌چنین ظرفیت انتقال جریان در جریان متمرکز نسبت به قطرات باران به مراتب بسیار بیش‌تر است (Govers et al., 2007). بنابراین با توجه به این مسأله که افزایش ابعاد شیارها و گسترش آن‌ها و هم‌چنین تمرکز بیش‌تر جریان آب، زمینه‌ساز رخداد فرسایش خندقی است، ضرورت کسب اطلاعات بیش‌تر و تکمیل‌تر درباره آن به‌شدت احساس می‌شود. از سوی دیگر یکی از علل وقوع فرسایش شیاری، تغییرات زمانی است (Merz et al., 2006).

۳-۲- عوامل مؤثر بر فرسایش شیاری

عوامل مؤثر بر ظهور فرسایش شیاری اعم از عوامل مختلف سطحی و زیرزمینی شامل عواملی مانند بارندگی، شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازند و بافت خاک، توپوگرافی، درصد طول شیب، جریان متمرکز، اقلیم، مقدار و نوع پوشش گیاهی است (Refahi, 2007; Luo et al., 2021). به‌نوعی می‌توان گفت که فرسایش شیاری عمدتاً در شیب‌های بالا رخ می‌دهد (Kou et al., 2021). در شکل ۱ عوامل مؤثر بر فرسایش شیاری نشان داده شده است.

۳-۳- ویژگی‌های زیستی مؤثر بر کاهش فرسایش شیاری

پوشش گیاهی به‌عنوان مانعی در مقابل برخورد قطرات باران، در نتیجه کاهش پتانسیل فرسایشی خاک بسیار مهم و ضروری است. تاج پوشش گیاهان با دریافت قسمتی از آب باران سبب تقلیل ضربات ناشی از برخورد قطرات به خاک می‌شود. هم‌چنین مهم‌ترین عامل مهارکننده تغییرات در فرسایش زمین و هم‌چنین کاهش سیلاب‌های مخرب به‌شمار می‌رود و یکی از روش‌های عمده حفاظت از فرسایش در حوزه‌های سیل‌خیز محسوب می‌شود (Shit and Maiti, 2012). پوشش گیاهی با کاهش سرعت جریان‌های سطحی سبب افزایش نفوذ آب در داخل خاک و در نتیجه ثبات خاک و کاهش فرسایش حاصل از رواناب و بارش می‌شود (Liu et al., 2019). هم‌چنین نقش پوشش گیاهی در زمینه حفاظت آب و خاک و نیز تثبیت حوضه‌ها، یک گزینه با



شکل ۱- عوامل دارای اثر مستقیم بر فرسایش شیاری
Figure 1- Factors with a direct effect on rill erosion

خاکدانه‌ها، بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، ظرفیت نفوذ آن، محتوای شیمیایی و آلی خاک نقش اساسی دارد (Shit and Maiti, 2012). البته باید نکته توجه داشت که همه ریشه‌ها سبب افزایش مقاومت خاک نیست به فرسایش نمی‌شوند و در بعضی موارد نتیجه عکس دارد (Liu et al., 2018). در این

۳-۲-۳- اهمیت ریشه در مهار فرسایش خاک
بیش‌ترین اثر ریشه گیاهان در کاهش فرسایش شیاری و خندقی است و برای بررسی آن مواردی مانند طول ریشه، قطر ریشه، نسبت سطح ریشه، تراکم سطح ریشه و هم‌چنین نوع ریشه در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین ریشه در خواص خاک مانند ثبات

(Menzel, 2003). هم‌چنین رشد و نمو گیاهان به‌ویژه گیاهان زراعی تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیمی است که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فعالیت‌های ساخت و ساز و فیزیولوژیکی گیاهان شامل آب، دما، نور و هم‌چنین پویایی گیاه در جذب دی‌اکسید کربن است (Robeson, 2002).

۳-۵- اهمیت مقاومت‌های تنشی در مهار فرسایش خاک
از آن‌جا که جنبه‌های مختلف شوری و سدیمی بودن خاک، سبب افزایش سرعت سله و تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و در نهایت افزایش پتانسیل فرسایش خاک می‌شود (Dardipour et al., 2007)، لذا در راستای تعیین گونه‌های مناسب برای مهار و کاهش فرسایش، بررسی مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های احتمالی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از جمله موارد اصلی در این زمینه، شوری خاک است، زیرا میلیون‌ها هکتار از اراضی سراسر جهان تحت تأثیر شوری هستند و این مسأله به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کمبود بارندگی حائز اهمیت است. چون بارندگی لازم جهت شست و شو و انتقال ذرات نمک از منطقه ریشه گیاهان وجود ندارد (Chaudhri et al., 1964). به‌عبارتی دیگر، زمانی که رشد گیاه به‌علت شوری محدود می‌شود، در حقیقت تنش شوری رخ داده است که می‌تواند به‌دلیل شوری خاک، آبیاری توسط آب شور و هم‌چنین زهکشی ضعیف باشد (Hashemi and Emadi, 2015). هم‌چنین بیش‌ترین خسارت فرسایش شیاری در خاک‌های با حاصل‌خیزی کم اتفاق می‌افتد و یکی از اجزای مهم فرسایش خاک در زمین‌های کشاورزی به شمار می‌رود (Chen et al., 2016). با توجه به این‌که در خاک‌های با مقدار سیلت و شن خیلی ریز، مقدار فرسایش شیاری بیش‌تر است، با افزایش پوشش گیاهی می‌توان مقدار آن را به نسبت زیادی کاهش داد (Wildhaber et al., 2012).

۳-۶- تعیین گونه گیاهی مناسب در مهار فرسایش شیاری
در انتخاب گونه گیاهی برای مهار فرسایش شیاری باید نکاتی از جمله بررسی مقاومت گونه‌ها نسبت به معیارهایی مانند تراکم تاج پوشش، حالت ریشه، مقاومت ساقه، مقاومت تنشی و اقلیمی مورد توجه قرار گیرد (شکل ۲). در این پژوهش به اختصار به بررسی این ویژگی‌ها در گونه‌های انتخابی و علت انتخاب گونه‌ها پرداخته شده است. هم‌چنین مسأله بسیار مهم در انتخاب گونه گیاهی برای مهار فرسایش، توجه به تنوع گونه‌ای است، به‌ویژه در مناطقی که دارای آب و هوای متغیر هستند. از سوی دیگر از منظر اقتصادی و امر حفاظت طولانی‌مدت از مناطقی که در اثر فرسایش مورد آشفستگی واقع شده‌اند، انتخاب گونه کارآمد

راستا، تأثیر ریشه‌های جانبی و افشان نسبت به ریشه راست در کاهش فرسایش شیاری بیش‌تر است. بنابراین نقش گراس‌ها در این زمینه بیش‌تر خواهد بود، هم‌چنین برای جلوگیری از هدررفت خاک حاصل از جریان‌های متمرکز و در نتیجه فرسایش شیاری، استفاده از گیاهان پوششی که دارای ریشه ریز هستند، مانند چچم (*Lolium*) و چاودار (*Secale cereale*) توصیه می‌شود (De Baets et al., 2011). توسعه و استقرار گیاهان سریع‌الرشد دارای سیستم ریشه‌ای مؤثر، سبب کاهش فرسایش در شیب‌های ناپایدار نیز می‌شود و در بین انواع روش‌های مختلف به‌سازی خاک، مقاوم کردن خاک به‌وسیله توسعه و استقرار سیستم ریشه‌ای از ابعاد مختلف از جمله محیط زیست بسیار مهم است (ShariatJafari et al., 2014).

۳-۳-۳- اهمیت ساقه در مهار فرسایش خاک

اهمیت نقش گیاهان در کاهش فرسایش، علاوه بر اندام‌های زیرزمینی از طریق اندام‌های هوایی نیز نمود پیدا می‌کند. از جمله عوامل مهم در بررسی گیاهان برای انتخاب مناسب‌ترین گونه، بررسی تراکم ساقه و هم‌چنین آستانه خم‌شدن توسط جریان است (De Baet et al., 2009). مهم‌ترین متغیر در کاهش رواناب تعداد ساقه است و هم‌چنین عامل کوتاه‌تر بودن آن، با عواملی از جمله سرعت پیش‌روی آب، آب‌شویی، طول حرکت سیلاب و طول شسته‌شدگی خاک و هم‌چنین طول خوابیده شدن گیاه در اثر سیل نقش مهمی داشته و دارای رابطه معکوس است (Karimi, 2017).

۳-۴- اهمیت سازگاری اقلیمی در مهار فرسایش خاک

تغییرات جهانی اقلیم می‌تواند بر شدت فرسایش خاک و توانایی خاک برای کشاورزی تأثیرگذار باشد و به‌عبارتی نوع و شدت فرسایش خاک به‌طور مؤثر تحت اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل اقلیمی است (Zare et al., 2016). هم‌چنین می‌توان گفت اثرات عمده تغییرات اقلیمی بر الگوی بارندگی خواهد بود (Paroissien et al., 2015). به‌دلیل این‌که یکی از اصلی‌ترین عوامل سازنده محیط زیست، اقلیم است؛ بنابراین شناخت و تأثیر آن بر اکوسیستم‌ها، امری بسیار ضروری قلمداد می‌شود، یکی از نتایج تغییرات آن می‌تواند به فرسایش خاک اشاره نمود که بیش‌ترین عوامل تأثیرگذار شامل بارندگی و شدت آن است (Esfandiari Darabadi and Sultanabad, 2013). مطالعه رویدادهای اقلیمی مانند امواج گرمایی و سرمای و تأثیر آن‌ها بر دوره رشد محصولات کشاورزی و هم‌چنین برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در بخش‌های مختلف اعم از اقتصادی، محیط زیستی، اراضی کشاورزی، آبیاری و زهکشی حائز اهمیت است

زیرزمینی دارای مقاومت بالا در برابر سرمای شدید و تنش‌های مکانیکی است (Khodabandeh, 2013). گونه *Vetiveria zizanioides* معمولاً در راستای اهداف آبخیزداری، حفاظت آب و خاک و جلوگیری از فرسایش خاک و رسوب هم‌چنین رواناب و افزایش نفوذپذیری خاک و در اراضی شیب‌دار و روی خطوط تراز کاشته می‌شود. هم‌چنین اولین کاربرد علف وتیور که مورد توجه قرار گرفت مربوط به کارایی بالای آن در حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها و شیب‌های تند در برابر رانش یا ریزش در برابر شرایط سیلابی، به دلیل ترکیب سامانه ریشه‌ای قوی و شاخه‌های ضخیم آن است که هیچ‌گونه عوارض محیط زیستی ندارد (Niknejad, 2010). این گونه توانایی این را دارد که در هر آب و هوایی رشد کند، حتی در خشکسالی‌های هندوستان نیز موفق عمل کرده است، هم‌چنین لازم به ذکر است که تکثیر این گیاه تنها از طریق تقسیم ریشه است و ریشه‌های عمیق وتیور مانع از شسته شدن دیواره‌ها می‌شود و از سوی دیگر شاخساره‌های گیاه سبب کاهش سرعت جریان شده و موجب افزایش مقاومت کناره‌ها در مقابل فرسایش می‌شوند (Xia et al., 1999). وتیور در حفظ آب و خاک نقش به‌سزایی داشته و می‌تواند سبب تجمع رسوبات دانه‌ریز و دانه‌درشت شده و به نفوذ آب کمک کند (Yousefian and Mirinejad, 2020). بنابراین کاشت آن به‌سبب ساختار ریشه‌ای افشان و عمقی، مقاومت بالای ساقه و برگ در برابر جریان و پریشت بودن، سازگاری و مقاومت بسیار بالا، برای اصلاح و احیاء اراضی و مانعی در برابر شست و شوی خاک و غرقاب شدن و نابودی اراضی کشاورزی و فرسایش شیاری توصیه می‌شود.

۳-۷-۲- گونه گز *Tamarix*

گز گونه‌ای است که به‌صورت درخت یا درختچه در مناطق مختلفی به‌ویژه ایران رویش دارد و به‌سبب رسیدن ریشه به آب سطحی دارای عمر طولانی است. علاوه بر این، به‌عنوان گونه مقاوم به خشکی شناخته می‌شود و در هر آب و هوایی قادر به زندگی است و سبب افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود. درختچه گز با تأثیر بر فعالیت‌های میکروبی خاک سبب حاصل‌خیزی خاک می‌شود و به همین دلیل نقش مهمی در حفاظت خاک ایفا می‌کند (Maghsoudi and Bazigar, 2019). گونه گز سریع‌الرشد و همیشه سبز و دارای تنه صاف و عمودی با ارتفاع حدود ۱۸ متر بوده و از مقاومت و دوام بالایی برخوردار است (Giti, 1995). هم‌چنین دارای سازگاری بالا نسبت به نوع آب و هوا و بافت نامناسب خاک است و در برابر شوری مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد. درختچه گز به‌دلیل دارا بودن ریشه‌های مترکم به‌ویژه در مراحل اولیه رشد، برای مهار فرسایش شیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مناسب است (De Baet et al., 2009).

در منطقه مورد نظر باید با دقت زیاد و آگاهی همراه باشد تا بیش‌ترین کارایی و سود را داشته باشد. در این راستا، استفاده از گونه‌هایی که استقرار آن‌ها به‌آسانی صورت نمی‌گیرد و با دشواری همراه است و سبب حفاظت خاک نمی‌شوند، توصیه نمی‌شود. در ادامه، برخی از گونه‌های مناسب برای فرسایش شیاری معرفی شده‌اند که با استناد به این مسأله که گیاه انتخابی برای مهار فرسایش باید علاوه بر معیارهای معرفی شده در این پژوهش با منطقه مورد نظر نیز سازگار باشند، به برخی ویژگی‌های زیستی آن‌ها نیز پرداخته شده است. هم‌چنین، نکته اساسی در بحث انتخاب گونه گیاهی مناسب این است که نباید جزء گونه‌های مهاجم باشد یا پس از مدتی تبدیل به گونه مهاجم در بوم‌سازگان منطقه شود. علاوه بر آن، اولویت اول برای انتخاب گونه مناسب در هر منطقه‌ای، استفاده از گونه‌های بومی است (Talaiei et al., 2020).

۳-۷-۳- معرفی برخی از گونه‌های گیاهی مناسب مهار فرسایش شیاری

در جدول ۱ برخی از گیاهان مناسب برای کاهش و مهار فرسایش شیاری به همراه علت انتخاب آن‌ها ارائه شده است. با استناد به این مسأله که گیاه انتخابی برای مهار فرسایش باید با منطقه مورد نظر سازگار باشد، به بررسی برخی ویژگی‌های بوم‌شناختی آن‌ها پرداخته شده است. مناسب‌ترین روش برای کاهش فرسایش با استقرار و احیاء پوشش گیاهی عملی می‌شود (Liu et al., 2018). البته باید به این نکته توجه کرد که علاوه بر سنجش سازگاری گونه انتخابی با منطقه مورد نظر باید در نظر داشت که گونه مهاجم نباشد یا با گذشت زمان به یک گونه مهاجم تبدیل نشود.

۳-۷-۱- گونه علف خوس یا وتیور *Vetiveria zizanioides*

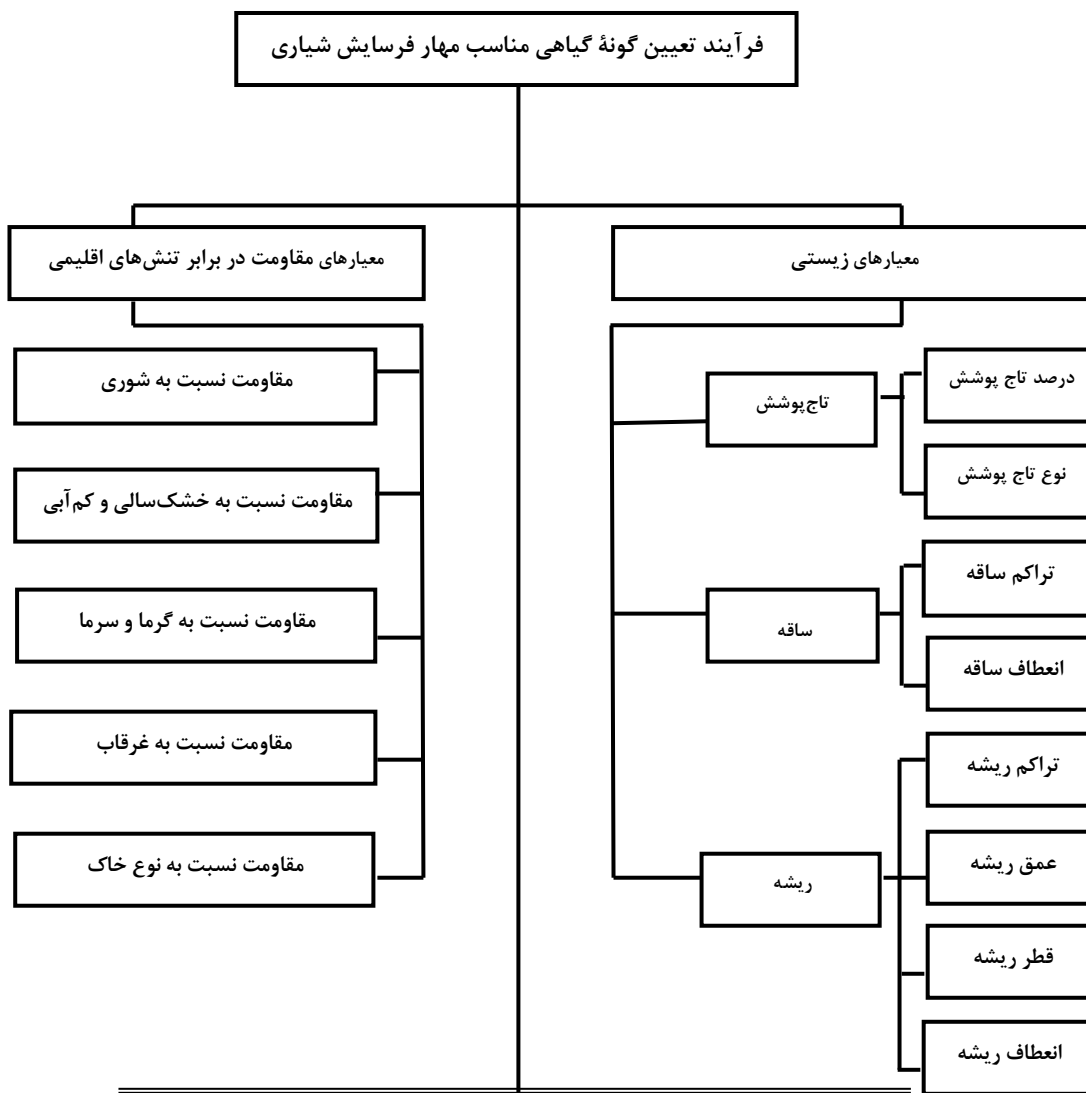
یک گونه چندساله علفی از خانواده گندمیان و بومی جنوب و جنوب‌شرقی آسیاست، که در ایران به وفور یافت می‌شود و استفاده عمده آن برای مبارزه با تخریب زمین است. گونه‌ای است که در بسیاری از مناطق جهان می‌روید و در حالت‌های مختلف خاک دارای سازگاری خوبی است. از جمله گونه‌هایی است که بسیار سریع استقرار می‌یابد و حتی در خاک‌های شور و اسیدی نیز رشد می‌کند (Ke et al., 2003). وتیور گیاهی آب‌دوست و دارای سامانه ریشه‌ای افشان و هم‌چنین عمقی بوده که به‌دلیل ساختار قوی آن، در برابر خشک‌سالی بسیار مقاوم و مناسب برای حفاظت خاک در مقابل فرسایش است (Smeal et al., 2003). به‌طور کلی وتیور در برابر تنش خشکی و آبی (سرما و گرما) کاملاً مقاوم است، هم‌چنین به‌سبب ساختار استوانه‌ای ساقه و وجود دسته‌های فیبر در آن، دارای مقاومت بالا و حالت برافراشته است. علاوه بر این، به‌دلیل رشد ساقه‌ها از تاج

۳-۷-۴- گونه‌ی تاغ *Haloxylon*

تاغ گیاهی است بومی کشورهای مختلف از جمله ایران، به صورت درختچه و دارای مقاومت بالا در برابر شرایط نامساعد محیطی، قلیابیت خاک، شوری، خشکی و سرما و دارای سامانه ریشه‌ای گسترده که برای جلوگیری از فرسایش خاک به روش زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گیاه *Haloxylon* به سبب دارا بودن سه ویژگی شورپسندی، خشکی‌پسندی و شن‌دوستی به عنوان سازگارترین گونه محسوب می‌شود. از دیگر ویژگی‌های این گونه می‌توان به استقرار آسان، تحمل درجه حرارت بالا، توانایی جذب آب و همچنین قابلیت جذب عناصر غذایی از خاک فقیر اشاره کرد (Mahmoudi et al., 2012).

۳-۷-۳- گونه پده *Populus uphratica Oliv*

Populus uphratica Oliv گونه‌ای از درخت صنوبر از خانواده بید است که به صورت طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور انتشار دارد. متوسط قطر تنه درخت پده ۱۸/۵ سانتی‌متر، متوسط ارتفاع آن برابر ۸۷/۶ سانتی‌متر و متوسط درصد تاج پوشش آن ۴۵۶ سانتی‌متر است (Fakhireh et al., 2013). از ویژگی‌های این گونه مقاومت بالا نسبت به شوری خاک و درجه حرارت بالا، سازگاری در مناطق با بارندگی کم، انواع خاک‌ها و خشکی و همچنین برخی ویژگی‌های محیط زیستی است (Zamani et al., 2011). لذا عواملی مانند مقاومت بالای گونه پده در برابر pH خاک و درجه حرارت بالا و تحمل خشکی و شوری و همچنین توانایی جست‌دهی بالا به عنوان گونه‌ای مناسب برای کاهش و مهار انواع فرسایش‌ها و فعالیت‌های اصلاح و حفاظت زیستی پیشنهاد می‌شود.



شکل ۲- روند تعیین گونه‌های مناسب برای کاهش فرسایش شیاری

Figure 2- The process of determination of appropriate species for rill erosion reduction

جدول ۱- برخی از گونه‌های گیاهی مناسب مهار فرسایش شیاری

Table 1. Some suitable plant species for rill erosion control

ردیف	گونه گیاهی	شکل رویشی	مقاومت به شوری	مقاومت به خشکی	مقاومت به سرما	مقاومت به غرقاب
1	<i>Vetiveria zizanioides</i>	علفی	بالا	بالا	بالا	بالا
2	<i>Tamarix</i>	درخت یا درختچه	بالا	بالا	بالا	متوسط
3	<i>Populus uphratica Oliv</i>	درختی	بالا	بالا	بالا	متوسط
4	<i>Haloxylon</i>	درختچه	بالا	بالا	بالا	متوسط
5	<i>Parrotia persica</i>	درختی	متوسط	بالا	بالا	متوسط
6	<i>Diospyros lotus</i>	درختی	متوسط	بالا	بالا	بالا
7	<i>Medicago spp</i>	علفی	بالا	بالا	بالا	بالا
8	<i>olea europaea</i>	درختی	بالا	بالا	بالا	بالا
9	<i>Cercis siliquastrum</i>	درختی	بالا	بالا	بالا	بالا
10	<i>Cercis siliquastrum</i>	درختی	متوسط	بالا	بالا	بالا

۳-۷-۵- گونه انجیلی *Parrotia persica*

انجیلی، گونه درختی پهن‌برگ، بومی جنگل‌های شمال ایران به‌صورت شاخه‌زاد و دانه‌زاد و هم‌چنین بارزترین گونه بومی حوضه هیرکانی است که ارتفاع آن به ۲۰ متر و پهنای تاج این گونه به هفت تا ۱۱ متر می‌رسد (Yosefzadeh et al., 2008). درصد تاج پوشش گونه *Parrotia persica* حدود ۶۱-۱۴ است و دارای ریشه‌های عمیق است که در مناطق با درصد شیب‌های مختلف و جهت‌های جغرافیایی گوناگون رویش دارد و خاک مناسب برای رشد آن لومی با زهکشی مناسب است و از طریق بذر و قلمه تکثیر می‌یابد (Khakpour Moghadam et al., 2017). لذا به‌دلیل بردباری این گونه در برابر خشکسالی زیاد و هم‌چنین مقاومت در خاک‌های اسیدی و قلیایی به‌عنوان گونه‌ای مقاوم و مناسب برای کاهش فرسایش معرفی می‌شود.

۳-۷-۶- گونه جنگلی کلهو یا خردمندی *Diospyros lotus*

گونه جنگلی خردمندی، یک درخت بومی جنگل‌های کرانه دریای مازندران است که در دامنه‌های شمالی البرز در شمال ایران رویش دارد و از نظر منظرسازی و سود اقتصادی بسیار مورد توجه است. گونه‌ای سریع‌الرشد دارای قابلیت استقرار در مناطق تخریب شده به‌وسیله عوامل لغزشی، خزشی است و هم‌چنین در خاک‌های عمیق، کم‌عمق، مناطق مستعد لغزش و هم‌چنین شیب‌های شمالی به‌آسانی استقرار و تکثیر می‌یابد. بذر این گونه سرشار از مواد غذایی برای مستقر شدن ریشه است و به‌دلیل این‌که دارای سامانه ریشه‌ای قوی برای جست‌دهی است، به سرعت تکثیر و گسترش می‌یابد. لذا در هر خاکی

مستقر می‌شود و به خاک خیلی غنی احتیاج ندارد و به‌علاوه دارای مقاومت و بردباری بالا در برابر رطوبت زیاد و هم‌چنین شرایط خشکی است. در جذب آب، که از جمله عوامل ناپایداری دامنه‌ها و ایجاد زمین‌لغزش است، از عملکرد خوبی برخوردار است و هم‌چنین گونه کلهو یا خردمندی نسبت به خاک‌های رسی و ماسه‌ای نیز مقاومت بالایی دارد. نهایتاً مجموع ویژگی‌های این گونه بیان‌گر این است که برای تثبیت زیستی مناطق فرسایش یافته و در معرض خطر و حفاظت از آن‌ها بسیار مناسب است (Shariat Jafari et al., 2014).

۳-۷-۷- گونه یونجه یکساله *Medicago spp*

یونجه در شمار گیاهانی است که خاستگاه اصلی آن ایران است. یونجه یک‌ساله با نام علمی *Medicago spp* از جمله گیاهان مناسب برای کشت در مکان‌هایی است که با مشکل فرسایش خاک مواجه هستند. این گونه به‌دلیل این‌که در برابر تنش‌های خشکی و آبی دارای مقاومت بالایی است، لذا برای حفاظت خاک در مقابل فرسایش و افزایش حاصل‌خیزی خاک توصیه می‌شوند (Badaruddin and Meyer, 1990).

۳-۷-۸- گونه زیتون *Olea europaea*

از قدیمی‌ترین گیاهان منطقه خاورمیانه، درخت زیتون با نام علمی *Olea europaea*، از خانواده *oleaceae* است که به‌سبب مقاوم بودن در برابر شوری خاک و تنش‌های آبی، تنش‌های خشکی و هم‌چنین سرسبزی در طول سال و داشتن صرفه اقتصادی برای حفاظت آب و خاک توصیه می‌شود. هم‌چنین دارای عمر طولانی

۴- نتیجه‌گیری

با وجود این مسأله که کشور ایران به‌علت از بین رفتن پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، کشت روی اراضی شیب‌دار و عدم مدیریت در اراضی کشاورزی و کاهش میزان بارندگی به‌شدت در معرض انواع فرسایش‌ها قرار گرفته است، با این حال مطالعات بسیار کمی در زمینه معرفی گونه‌های گیاهی مناسب برای مهار فرسایش شیاری در ایران صورت گرفته است. در همین راستا، پژوهش حاضر، با هدف آشنایی و افزایش اطلاعات در زمینه زیست‌مهندسی انجام شد. گونه‌های معرفی شده با توجه به سازگار بودن با مناطق می‌تواند در راستای مهار فرسایش مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به دستاوردهای این مطالعه و اهمیت مشکلات ناشی از فرسایش خاک، توصیه‌های کلی شامل تشخیص و ارزیابی کارایی گونه‌های گیاهی استقرار یافته و تبیین پیامدهای مثبت و منفی حاصل از کاشت و احیاء آن‌ها، جمع‌آوری اطلاعات در مورد گونه‌های گیاهی مناسب برای کاهش و کنترل سایر اشکال فرسایشی، بررسی ویژگی‌های بوم‌شناختی آنان به‌منظور پیش‌گیری و کاهش فرسایش، تبیین و شناسایی مناطق در معرض فرسایش شیاری و تبیین راهبرد زیست‌مهندسی برای حفاظت از مناطق مربوطه، جلوگیری از نابودی پوشش جنگل‌ها و مراتع و افزایش کاشت و احیاء و استقرار گونه‌های گیاهی مناسب بوده است. همچنین، تقویت اقدامات زیستی از قبیل استقرار بافر، نوارهای ساحلی، بذرکاری، بذرپاشی، قلمه‌کاری، نهال‌کاری، ایجاد پوشش گیاهی و اجرای طرح‌های حفاظت و قرق مراتع و جنگل‌ها پیشنهاد می‌شود.

است و حتی در صورت از بین رفتن ریشه به‌وسیله پاجوش حیات دوباره می‌گیرد و از طریق خوابانیدن، پیوند و قلمه زدن نیز می‌تواند تکثیر پیدا کند (Estaji et al., 2017). برگ‌های زیتون دارای سازگاری ویژه‌ای در جلوگیری از هدررفت خاک و آب دارد، که این مسأله سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های خشکی و آبی است (Sofa et al., 2004).

۳-۷-۹- گونه چنار *Platanus orientalis*

درخت چنار از گونه‌هایی است که ارتفاع آن به ۳۰ متر می‌رسد و به‌طور معمول در حاشیه جریان‌های آبی کاشته می‌شود. به همین دلیل نقش مهمی در حفاظت خاک، کاهش فرسایش حاشیه رودخانه‌ها و نیز افزایش پایداری خاک و مسلح‌سازی خاک از طریق ریشه‌ها دارد. این گیاه دارای تاج گسترده، ساقه و شاخه‌های قوی و استوار و ریشه‌های عمیق است و از طریق بذر و قلمه انتشار می‌یابد (Nouri and Habibi Bi Balani, 2018).

۳-۷-۱۰- گونه ارغوان معمولی *Cercis siliquastrum*

ارغوان به‌صورت درخت یا درختچه، گیاهی بومی سرزمین‌های جنوبی اروپا و جنوب غربی آسیا است که در کشور ایران نیز رویش دارد. در خراسان رضوی، ایلام، شاهرود، کرمان، مازندران، گیلان، همدان، لرستان و فارس و در پاره استان کرمانشاه (روستای داریان) به‌صورت خودرو می‌روید و برای حفاظت خاک به‌ویژه شیب‌ها، که بیش‌تر مورد فرسایش واقع می‌شوند کاربرد ویژه دارد و همچنین دارای مقاومت زیادی در برابر گرمای تند آفتاب، خشکی، کم‌آبی و خاک نامطلوب است و از طریق پیوند و قلمه تکثیر می‌یابد (Farahmand and Khoshkhoui, 2001).

منابع

- آرمین، م. و نیاخیبری، ق. و عبادی، ز. (۱۳۹۸). انواع سازه‌های بیولوژیک کنترل فرسایش خاک. چهارمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، ۲۳-۲۴ مرداد ۱۳۹۸. دانشگاه میعاد، تبریز.
- استاجی، ا.، ناصری، ل.، قنبری، آ.، و نجف‌زاده، ر. (۱۳۹۶). بررسی ویژگی‌های آناتومیکی و مورفولوژیکی مرتبط با مقاومت به خشکی در برگ ۳۰ رقم زیتون. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۶(۲۱)، ۳۶۹-۳۷۶.
- اسفندیاری درآبادی، ف. و محمدی سلطان‌آبادی، ز. (۱۳۹۲). بررسی عوامل اقلیمی تاثیرگذار بر میزان فرسایش خاک در حوضه نوران. دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ۱ مرداد ۱۳۹۲، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، ارومیه.
- حسینی، س.م.، مساعدی، ا.، ناصری، ک.ا.، و گلکاریان، ع. (۱۳۹۱). شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر بر فرسایش شیاری در واحدهای تپه ماهوری جنوب غرب شهرستان مشهد. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۲)، ۷۱-۸۳.
- حسینی توسل، م. و یوسفی خانقاه، ش. (۱۳۸۶). ارائه روشی برای مدیریت و احیای حوضه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌های مناسب بیولوژیکی (مطالعه موردی حوزه آبخیز گرکباغی). چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز. ۱ اسفند ۱۳۸۶، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.
- خاکپورمقدم، ط.، قربانی، م. ل. و عصری، ی. (۱۳۸۶). بررسی اکولوژیکی گونه بومی و منحصر به فرد انجیلی در جنگل‌های نور. ششمین همایش سراسری علوم پایه، ۲۳ آبان ۱۳۸۶، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری، ری.

- خداپنده، ن. (۱۳۹۲). غلات. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۱ ص.
- دردی‌پور، ا.، قدیری، ح.، حسین، ج. ۱۳۸۶. اثر شوری و سدیم بر فرسایش‌پذیری، انتقال رسوب و کیفیت پایاب حاصله در سه نوع خاک مختلف. *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۴(۴)، ۴۱-۵۲.
- رفاهی، ح. (۱۳۹۴). فرسایش آبی و کنترل آن. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۴ ص.
- زمانی، ص.، و محمدزاده نصرآبادی، م.، و عنابی میلانی، ا. (۱۳۹۰). بررسی جوامع درخت پده و چگونگی سازگاری آن در مناطق گرمسیر و سردسیر. اولین همایش تخصصی توسعه کشاورزی استان‌های شمال‌غرب کشور، مشگین‌شهر، ۱۸ آبان ۱۳۹۰، دانشگاه پیام نور اردبیل.
- شریعت‌جعفری، م.، داودی، م.، صفائی، م.، پرتوی، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی تاثیر سیستم ریشه‌های کلهو در مقاومت‌سازی خاک با استفاده از شاخص‌های RDR و RDI. *مهندسی و مدیریت آب‌خیز*، ۶(۲)، ۱۰۷-۱۱۴.
- شهریور، ع.، و خزایی، م. (۱۳۹۶). بررسی ارزیابی تلفیق روش‌های مکانیکی و بیولوژیکی در کاهش رواناب، رسوب، افزایش رطوبت و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: منطقه مارگون استان کهگیلویه و بویراحمد). *مرتع*، ۱۱(۱)، ۱۶-۲۶.
- خفیره، ا.، شعبی، م.، و روحی‌مقدم، ع. (۱۳۹۲). بررسی ویژگی‌های رویشگاهی گونه پده در دشت سیستان. اولین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی، ۸ اسفند ۱۳۹۲، دانشگاه گنبد کاووس.
- فیروزی، ا.، اکبری، ح.، لطفعلیان، م.، و مقدمی‌راد، م. (۱۳۹۵). بررسی تاثیر پوشش گیاهی بر فرسایش خاک. چهارمین همایش ملی انجمن‌های علمی دانشجویی رشته‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست، ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.
- قنواتی، ر.، صوفی، م.، و عباسی‌زاده، م. (۱۳۹۳). تعیین گونه‌های گیاهی مناسب جهت کنترل فرسایش آب‌کندی در منطقه چهل چشمه دشت ارژن استان فارس. اولین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.
- کردوانی، پ. (۱۳۹۴). حفاظت خاک. چاپ یازدهم، دانشگاه تهران، ۲۸۶ ص.
- کریمی، ز. (۱۳۹۶). مقایسه تاثیر برخی تک‌لپه‌ای‌ها و دولپه‌ای‌های چندساله در کاهش رواناب. اولین همایش ملی صیانت و حفاظت از جنگل‌های ارسباران، ۱۴-۱۵ شهریور ۱۳۹۶، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز.
- گیتی، ع.ر. (۱۳۷۵). اثر کشت گیاهان گز و آتریپلکس بر روی شوری خاک. *بیابان*، ۱(۱)، ۳۹-۵۲.
- محمدی، ط.، دستورانی، م.ت.، عظیم‌زاده، ح.ر.، و جعفرپور، ع. (۱۳۹۷). بررسی عملکرد عملیات بیولوژیکی آب‌خیزداری بر ترسیب کربن خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کستان فارس). *علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، ۱۲(۴۱)، ۳۱-۴۰.
- محمودپور، س.، روحانی، ح.، قربانی واقعی، ح.، و سیدیان، م. (۱۳۹۵). فهم فرسایش شیبی در شرایط خاک خشک و مرطوب. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۶(۱)، ۱۷-۲۹.
- محمودی، ا.، زاهدی‌امیری، ق.ا.، و اعتماد، و. (۱۳۹۱). بررسی ارتباط ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با شادابی گونه تاغ در تاغ‌زارهای طبیعی و دست کاشت (مطالعه موردی: دشت حسین‌آباد، استان خراسان جنوبی). *مجله جنگل ایران*، ۴(۴)، ۲۸۹-۲۹۹.
- مرادمند جلالی، ع.، جلیوند، ح.، عطایی گیگلو، ا. (۱۳۸۵). نقش جنگل در جلوگیری از فرسایش. همایش منابع طبیعی و توسعه پایدار در عرصه‌های جنوبی دریای خزر، ۱۷ اسفند ۱۳۸۵، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، مازندران.
- مسجدی، ا.، و فتحی‌مقدم، م. (۱۳۸۸). بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز. *هندسی و مدیریت آب‌خیز*، ۱(۳)، ۲۰۱-۲۱۲.
- مقدمی‌راد، م.، معیری، م.، عبدی، ا.، و قربانی واقعی، ح. (۱۳۹۷). اثر تراکم پوشش گیاهی بر رواناب و هدررفت خاک فرسایش بین شیبی در ترانسه خاکبرداری جاده جنگلی (مطالعه موردی: جنگل کوه‌همیان-آزادشهر). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲(۲)، ۲۱۹-۲۳۳.
- نوری، پ.، و حبیبی بی‌بالانی، ق. (۱۳۹۸). بررسی میزان پراکنش ریشه درختان چنار (*Platanus orientalis L.*) در حاشیه رودخانه کرانلو شهرستان کلپیر. *حقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده*، ۱۰(۲)، ۶۱-۸۰.
- نیک‌نژاد، داود. (۱۳۹۰). کنترل بیولوژیکی فرسایش ساحلی رودخانه‌ها با استفاده از گیاه معجزه‌گر وتیور (*Vetiver*). *یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر*، ۱۸ بهمن ۱۳۹۰، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- واعظی، ع.، و حیدری، م. (۱۳۹۸). تأثیر کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های جریان و فرسایش شیبی در کشتزار دیم گندم. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰(۱)، ۵۳-۶۳.
- هاشمی، ع.، و عمادی، م. (۱۳۹۴). اثرات تنش شوری در گیاهان. همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی، ۱ خرداد ۱۳۹۴، شرکت تعاونی علم‌گستران پیش‌تاز ایرانیان، تهران.
- یزدان‌پناه، ن.، و محمودآبادی، م. (۱۳۸۸). بررسی برخی گونه‌های گیاهی مناسب برای کنترل فرسایش و حفاظت خاک در مناطق خشک و بیابانی استان کرمان. *دهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر*، ۱۹ بهمن ۱۳۸۸، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

یوسفیان، م. و میری‌نژاد ش. (۱۳۹۹). مروری بر گیاه وتیور (*Vetiveria Zizanioides*) و نقش آن در کاهش رواناب و جلوگیری از فرسایش خاک. *نخبگان علوم و مهندسی*، ۵(۲)، ۱۴۷-۱۴۲.

یوسف‌زاده، ح.، اکبریان، م.، اکبری‌نیا، م. (۱۳۸۷). بررسی تنوع برگ درخت انجیلی در شیب ارتفاعی در شرق استان مازندران. *رستنیها*، ۲۹(۲)، ۱۷۸-۱۸۹.

یوسفی، م.م.، حسین‌زاده، ی.، شعبانی، آ.، و ستوهیان، ف. (۱۳۹۵). فرسایش خاک. دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، ۲۷ خرداد ۱۳۹۵، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.

References

- Armin, M., Ghorban Niakhibari, W., & Ebadi, Z., (2019). Types of biological structures to control soil erosion. 4th International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran, Tabriz, 14-16 August, 2019 (in Persian).
- Aslam, B., Maqsoom, A., Shahzaib, Kazmi. Z.A., Sodangi, M., Anwar, F., Bakri, M.H., Faisal Tufail, R., & Farooq, D. (2020). Effects of landscape changes on soil erosion in the built environment: Application of geospatial-based RUSLE technique. *Sustainability*, 12(15), 1–20.
- Badaruddin, M., & Meyer, D. (1990). Green-manure legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. *Crop Science*, 30, 819-824.
- Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Epis, T., & Morlotti, E. (2009). Root cohesion of forest species in the Italian ALPS. *Plant and Soil*, 324, 71-89.
- Casermiro, M.A., Molina, J.A., Delacruz Caravaca, M.T., Hernando Massanet, M.I., & Moreno, P.S. (2004). Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena*, 57, 97-107.
- Cerdà, A. (2007). Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Science of the Total Environment*, 378 (1-2), 151-155.
- Chaudhri II, S.B.H., Nagri, N., & Mallik, I.A. (1964). Investigation on the role of Suaeda fruticosa in the reclamation of saline and alkaline soils of West Pakistan. *Plant and Soil*, 21, 1-7.
- Chen, X.Y.Y., Zhao, H., Mi, X., & Mo, B. (2016). Estimating rill erosion process from eroded morphology in flume experiments by volume replacement method. *Catena*, 136, 135-140.
- Dardipour, A., Ghadiri, H., & Hossein, J. (2007). The influence of salinity and sodicity on soil erodibility, sediment transport and downstream water quality from three contrasting soils. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(4), 41-52 (in Persian).
- De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J., & Serlet, L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85, 237–244.
- De Baets, S., Poesen, J., Reubens, B., Muys, B., De Baerdemaeker, J., & Meersmans, J. (2009). Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion: application to a Mediterranean ecosystem. *Earth Surface Process of Landforms*, 34, 1374–1392.
- Esfandiari Darabadi, F., & Mohammadi Sultanabad, Z. (2013). Study of climatic factors affecting soil erosion in nooran basin, second national conference on climate change and its impact on agriculture and environment, 2nd National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment, Urmia (in Persian).
- Estaji, A., Naseri, L., Ghanbari, A., & Najafzadeh, R. (2017). Investigation of anatomical and morphological features related to drought resistance in leaves of 30 olive cultivars. *Plant Process and Function*, 6(21), 376-369 (in Persian).
- Fakhireh, A., Shoaib, M., & Rohi Moghadam, A. (2013). Investigation of habitat characteristics of Padeh species in Sistan Plain. Conference of the Ministry of Science, Research and Technology, Gonbad Kavous University (in Persian).
- Farahmand, H., & Khoshkhoodi, M. (2001). Study of sexual and vegetative growth promotion of common purple (*Cercis siliquastrum L.*). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(1-2), 38-25.
- Firoozi, A., Akbari, H., Lotfalian, M., & Moghaddami Rad, M. (2016). The effect of vegetation on soil erosion. Fourth National Conference of Student Scientific Associations in Agriculture, Natural Resources and Environment, Karaj (in Persian).
- Ghanavati, R., Soufi, M., & Abasizadeh, M. (2015). Determining suitable plant species to control gully erosion in Chehel Cheshmeh area of Arjan plain of Fars province. First International Conference on New Findings in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, 8 p, Tehean (In Persian).
- Giti, A. (1995). The effect of Tamarix and Atriplex planting on soil salinity. *Desert*, 1, 39-52. (In Persian)
- Govers, G., Gimenez, R., & Van Oost, K., (2007). Rill erosion: Exploring the relationship between experiments, modelling and field

- observations. *Earth-Science Reviews*, 84, 87–102.
- Hashemi, A., & Emadi, M. (2015). Effects of salinity stress on plants, International Conference on Applied Research in Agriculture, Tehran. (in Persian).
- Hassen, G., & Bantider, A. (2020). Assessment of drivers and dynamics of gully erosion in case of Tabota Koromo and Koromo Danshe watersheds, South Central Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(5), 1–13.
- Hosseini, S.M., Masaedi, A., Naseri, K., & Golkarian, A. (2012). Identifying the most important factors affecting furrow erosion in satellite hill units southwest of Mashhad. *Geography and Environmental Hazards*, 1(2), 71-83 (in Persian).
- Hosseini Tavassol, M., & Yousefi Khanghah, Sh. (2007). Presenting a method for managing and rehabilitating watersheds using appropriate biological programs (Case study of Garkbaghi watershed) (in Persian)
- Hubble, T.C.T., Docker, B.B., & Rutherford, I.D. (2010). The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: A review of Australian experience and practice. *Ecological Engineering*, 36(3), 292-304.
- Jiang, F., Zhan, Z., Chen, J., Lin, J., Kuang, M., Hongli, Ge.W., & Huang., Y. (2018). Rill erosion processes on a steep colluvial deposit slope under heavy rainfall in flume experiments with artificial rain. *Catena*, 169, 46-58.
- Kardovani, P. (2015). Soil Conservation. 11th Edition, University of Tehran Press, 286 p (in Persian).
- Karimi, Z. (2017). Comparison of the effect of some monocotyledons and perennial cotyledons on runoff reduction. The First National Conference on the Protection and Preservation of Arasbaran Forests. Sept 5-6 Tabriz (in Persian).
- Ke, C., Feng, Z., Wu, X., & Tu, F. (2003). Design principles and engineering samples of applying vetiver ecoengineering technology for steep slope and riverbank stabilization. In: Proc 3rd Int'l Conf. on Vetiver. Guangzhou, China. *China Agricultural Press*, Beijing, 365–374.
- Khakpour Moghadam, T., Ghorbanli, M., & Asri, Y. (2007). Ecological study of native and unique biblical species in light forests, Sixth National Conference on Basic Sciences, Ray (in Persian).
- Khodabandeh, N. (2013). Cereal Agriculture, University of Tehran Press, pp. 141 (in Persian).
- Kirkels, F.M.S.A., Cammeraat, L.H., & Kuhn, N.J. (2014). The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes-A review of different concepts. *Geomorphology*, 226, 94-105.
- Koirala, P., Thakuri, S., Joshi, S., & Chauhan, R. (2019). Estimation of soil erosion in nepal using a rusle modeling and geospatial tool. *Geosciences*, 9, 147.
- Kou, P., Xu, Q., Yunus, P., Dong, X., Zhong, Y., Chen, L., Fang, Sh., Luo, X., & Jin. Z. (2021). Rill development and its change rate: a field experiment under constant rainfall intensity. *CATENA*, 199, 105112.
- Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X., & Fu, B. (2018). The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, 28(1), 59-78.
- Liu, X., Li, H., Zhang, S., Cruse, R.M., & Zhang, X. (2019). Gully erosion control practices in north east china. *A Reviews Sustainableity*, 11(18), 5065.
- Luo, J., Zheng, ., Li, T., He, Sh., Zhang, Xizhou, H., & Wang, Y. (2021). Quantifying the contributions of soil surface microtopography and sediment concentration to rill erosion. *Science of the Total Environment*, 752, 141886.
- Mahmoudi, A., Zahedi Amiri, Q., & Etemad, W. (2012). The relationship between physical and chemical properties of soil with hawthorn species vigor in natural and planted hawthorn fields (Case study: Hosseinabad plain, South Khorasan province). *Iranian Journal of Forest*, 4(4), 289-299 (in Persian)
- Masjedi, A., & Fathi Moghadam, M. (2009). Laboratory study of the effect of vegetation in preventing soil erosion in watersheds. *Watershed Engineering and Management*, 1(3), 201-212 (in Persian).
- Menzel, A. (2003). Plant phonological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climate Change*, 57, 243-263.
- Merz, R., Bloschl, G., & Parajka, J. (2006). Spatiotemporal variability of event runoff coefficients. *Journal of Hydrology*, 331, 591-604.
- Moghaddamirad, M., Moayeri, M., Abdi, A., & Ghorbani Vaghei, H. (2018). Effect of vegetation cover density on runoff and soil loss of interill erosion in forest road cutslope (Case study: Koohmian Forest-Azadshahr). *Soil and Water Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 25(2), 219-223 (in Persian)
- Mohammadi, T., Dastorani, M.T., Azimzadeh, H.R., & Jafarpour, A. (2018). Study of watershed managemant biological practices on soil carbon sequestration (Case Study: Kelestan Watershed-Fars Province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(41), 40-31 (In Persian).

- Mohammadpour, S., & Rouhani, H.F. (2016). The real victim, H., Seyedian, S.M., Understanding rill erosion rate in dry-wet condition. *Environmental Erosion Research*, 6(1), 29-17 (in Persian).
- Moradmand Jalali, A., Jalilvand, H., & Ataei Gigloo, A. (2006). The role of forest in preventing erosion. Conference on Natural Resources and Sustainable Development in the southern areas of the Caspian Sea, Noor (in Persian).
- Niknejad, D. (2010). Biological control of river bank erosion by Vetivergrass. 11th National Seminar on Irrigation and Vapor reduction Kerman, Shahid Bahonar University, 8-10 February 2010, Kerman, Iran (in Persian)
- Nouri, P., & Habibi Bi Balani., Q. (2018). Investigation of root distribution of sycamore trees (*Platanus orientalis L.*) along the Cranlow River in Kalibar. *Renewable Natural Resources Research*, 10-2, 61-80 (in Persian).
- Parhizkar, M., Shabanpour, M., Zema, D., & Lucas-Borja., M. (2020). Rill erosion and soil quality in forest and deforested ecosystems with different morphological characteristics. *Resources*, 9(11), 129.
- Paroissien J.B., Darboux, F., Couturier, A., Devillers, B., Mouillot, F., Raclot, D., & Le Bissonnais, Y. (2015). A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France). *Journal of Environmental Management*, 150, 57-68.
- Refahi, H. (2006). Water erosion and its control. 7th Edition, University of Tehran press, 674 p (in Persian).
- Rivas, T. (2006). Erosion Control Treatment Selection Guide. USDA Forest Service Arapaho and Roosevelt National Forests and Pawnee National Grasslands U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA.
- Robert, B., Allen Geoff, M., Rogers, G., & Stewart, H. (2002). Maintenance of key trees species. *Frontiers of Commodity Chain Research*: 207.
- Robeson, S.M. (2002). Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climate Change*, 52, 219-238.
- Schindler Wildhaber, Y., Bänninger, D., Burri, K., & Alewell, C. (2012). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. *Catena*, 91, 56-62.
- Shahrivar, A., & Khazaei, M. (2017). Evaluation of the combination of mechanical and biological methods in reducing runoff, sediment, increasing humidity and vegetation (Case study: Margon region of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province). *Journal of Rangeland*, 11 (1), 16-26 (in Persian).
- Shariatjafari, M., Davoodi, M., Safaee, M., & Partovi. (2014). Assessment of soil reinforcement by *Diospyros lotus* roots using RDR and RDDI indexes. *Watershed Engineering and Management*, 6(2), 107-114 (in Persian).
- Shit, P.K., & Maiti, R. (2012). Effects of plant root density on the erodibility of lateritic topsoil by simulated flume experiment. *Forest, Soil and Erosion*, 2(3), 137-142.
- Smeal, C., Hackett, M., & Truong, P. (2003). The use of Vetiver grass wetlands for sewerage treatment in Australia. Proceedings of 3rd International Conference on Vetiver, Guangzhou, China, 132-141.
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., & Masia, A. (2004). Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive tree in response to drought stress, *Physiology of Plant*, 121, 58-65.
- Talaei, R., Shadfar, P., Azimi Motam, F., Rostami Kia, Y., & Sufi, M. (2020). Evaluation of the ability of native plant species to control furrow and moat erosion in the north of Ardabil province. *Watershed management research*, 34 (2), 134-150.
- Vaezi, A., & Heidari, M. (2019). The effect of wheat straw on flow characteristics and furrow erosion in rain-fed wheat field. *Iranian Soil and Water Research* (Iranian Agricultural Sciences), 50 (1), 53-63 (in Persian).
- Viville, D., Biron, P., Granier, A., Dambrine, E., & Probst, A. (1993). Interception in a mountainous declining spruce stand in the Stengbach catchment (Vosges France). *Journal of Hydrology*, 144, 273-282.
- Wirtz, S., Seeger, M., & Ries, J.B. (2010). The rill experiment as a method to approach a quantification of rill erosion process activity. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 54(1), 47-64.
- Wirtz, S., Seeger, M., Zell, A., Wagner, C., Wagner, J.F., & Johannes B., R. (2013). Applicability of different hydraulic parameters to describe soil detachment in eroding rills. *PLoS ONE*, 8(5), e64861.
- Xia, H.P., Ao, H.X., Liu, S.Z., & He, D.Q. (1999). Application of the Vetiver grass bioengineering technology for the prevention of highway slippage in southern China. Proc. *Groang and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization*, Manila, Philippines April.
- Yazdanpanah, N., & Mahmoud Abadi, M. (2010). Study of some plant species suitable for soil erosion control and protection in arid and desert areas of Kerman Province. *10th National Conference on Irrigation & Evaporation Reduction*, Kerman, 2010-02-08 (in Persian)
- Yousefi, M., Hosseinzadeh, Y., Shabani, A., & Sotohan, F. (2016). Soil Erosion. *2nd National*

- Congress on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Sciences of Iran*, Tehran (in Persian).
- Yousefian, M., & Mirinejad, Sh. (2020). Review of *Zizanioides Vetiveria* and its role in reducing runoff and preventing soil erosion. *Journal of Science and Engineering Elites*, 5 (2), 142-147 (in Persian).
- Yosefzadeh, H., Akbarian, M. R. & Akbarinia, M. (2008). Variation in leaf morphology of *Parrotia persica* along an elevational gradient in eastern Mazandaran province (N. Iran). *Rostaniha* 9(2), 178-189 (In Persian).
- Zamani, S., Mohammadzadeh Nasrabadi, M., & Anabi Milani, A. (2011). Study of Padeh tree communities and how it adapts in tropical and cold regions. First Forum for Agricultural Development of Northwest Provinces, Meshginshahr (in Persian).
- Zare, M., Nazari Samani, A.A., Mohammady, M., Teimourian, T., & Bazrafshan, J. (2016). Simulation of soil erosion under the influence of climate change scenarios. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 75, 1405.
- Zhang Q., Lei T., & Zhao J. (2008). Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma*, 147, 8-15.