دوره‌ی۳۴، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۱، تابستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۵۰-۱۳۴
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2021.351534.1358

مقاله‌ی پژوهشی

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی توان گونه‌های گیاهان بومی در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی در شمال استان اردبیل

رضا طلایی
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
صمد شادفر
دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
فرزانه عظیمی‌مطعم
پژوهشگر بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
یونس رستمی‌کیا
استادیار بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
مجید صوفی
دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: r.talaei@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۴ شهریور ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۳۰ آذر ۱۳۹۹

چکیده

این پژوهش با کاربرد روشی کمّی برای ارزیابی توان گیاهان در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی در منطقه‌ی مغان استان اردبیل اجرا شد. در پنج سال از ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹، پنج شاخص تراکم ساقه (SD)، توان ریشه‌ی گیاه در کاهش‌دادن فرسایش خاک سطحی در برابر جریان تمرکزیافته‌ی فرسایشی (RSD)، توان ایجادکردن مانع در برابر مواد معلق (SOP)، شاخص سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) برای ۲۰ گیاه بومی در منطقه محاسبه شد (SD=۱/۴۱۱×۱۰$^{-۴}$ - ۰/۲۸، RSD=۶/۶۸×۱۰$^{-۲۴}$ - ۱۰/۱۰۷۶، SOP=۸/۲۷۵×۱۰$^{-۵}$ - ۰/۶۹۶ N، MEI=۱/۶۹×۱۰$^{-۶}$ - ۲۷/۱۳۴ Pa، Cr=۵/۴۳۲×۱۰$^{-۴}$ - ۳۴/۶۲۶). گونه‌های گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb.)، علف‌شور (*Salsola dendroides* Pall.)، درمنه‌ی معطر (*Artemisia fragrans* Willd.)، زلف-پیر ریش‌دار (*Stipa arabica* Trin. & Rupr. var. *arabica*)، خارشتر (*Alhagi camelorum* Fisch.)، گل‌ماهور سنبله‌یی (*Verbascum stachydifome* Boiss. & Buhse.)، علف‌بره (*Festuca ovina* L.) و ملیکای بلند (*Melica altissima* L.) برای مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی در منطقه بسیار مناسب است. علف‌بره، زلف‌پیر ریش‌دار و ملیکای بلند به‌دلیل سازگاری به شرایط خشکی در منطقه و مقاومت زیاد در برابر جریان‌های تمرکزیافته‌ی فرسایشی ممکن است در احیای پوشش گیاهی به‌کار برده‌شود. ممکن است ترکیب گونه‌های گیاهی مختلف به‌دلیل توان‌شان در یک یا چند شاخص برای مهارکردن فرسایش بسیار موثر باشد. نتیجه‌های این پژوهش را می‌توان در ناحیه‌های همسایه‌ی این منطقه و در اقلیم‌های مشابه نیمه‌خشک و خشک سرد نیز به‌کار برد.

واژگان کلیدی: استان اردبیل، پوشش گیاهی، خندق، شاخص، فرسایش، گونه‌های گیاهی

مقدمه

فرسایش خاک دشـــواری‌های زیادی از جمله افزایش بار معلق رودخانه‌ها و پر شدن آبگیر سدها، کاهش حاصل‌خیزی خاکها و آلودگی‌های محیط زیســـت را در پی دارد (ژانگ ۲۰۱۷، بنت و ولز ۲۰۱۹). فرسایش آبی به شکل‌های مختلف از جمله شیاری و خندقی باعث تخریب خاک می‌شود، و در میان آن‌ها فرسایش خندقی شـــدیدتر اســـت (نوســـکو و همکاران ۲۰۱۹، هاسن و بان‌تیدر ۲۰۲۰) و ســـبب ایجادشدن تغییر زیاد در سطح زمین می‌شـــود (چوبین و همکاران ۲۰۱۸). با شروع بارندگی و بر اثر کارمایه‌ی قطره‌های باران فرســـایش صفحه‌یی روی می‌دهد، و با افزایش شـــدت آن فرسایش شیاری شکل می‌گیرد. معمولاً با پیوستن چند شیار فرسایشی خندق تشکیل می‌شود (نوسکو و همکاران ۲۰۱۹). فرســـایش شیاری در سطح وسیعی گسترش می‌یابد ولی تغییر ریخت‌شناســـی نســـبتاً آهســـته‌یی را ایجاد می‌کند. فرســـایش خندقـــی بر بخش‌های محـــدودی از زمین اثر می‌کنـــد، اما حجم عظیمی از خـــاک را جابه‌جا (وانمرک و همکاران۲۰۱۶) و تغییر ســـریع و مهمی در ریختار زمین ایجاد می‌کنـــد (کرتز ۲۰۰۹). با تشکیل‌شـــدن خندق‌هـــا اندازه‌های عظیمی از خاک یا در کنار راه‌ها ته‌نشین می‌شود، یا با برده‌شدن در شبکه‌ی زه‌کشی دشـــواری‌هایی را به‌وجود می‌آورد (ساکسا و مینار۲۰۱۲). نتیجه‌ی بررســـی‌ها نشـــان می‌دهد که ســـطح زمین‌های با فرسایش بسیار شدید از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از ۴ به ۸٪ افزایش یافته است (آسلام و همکاران ۲۰۲۰).

روش‌هـــای اصلی در کاهـــش‌دادن اثرهای مخرب فرســـایش با اجراکردن سازه‌های ساختمانی و یا احیاکردن و استقرار پوشش گیاهی عملی می‌شـــود. چون مهارکردن فرســـایش در بیش‌تر منطقه‌هایی که پوشش گیاهان طبیعی آن‌ها بازسازی شده است روشـــی کارآتر و کم هزینه‌تر اســـت (گومید و همکاران۲۰۱۴، کو و همکاران ۲۰۱۶، لیو و همکاران ۲۰۱۹)، اولویت پژوهشـــی بســـیاری از محققـــان در جاهای مختلف دنیا بوده اســـت (دی بتس و همـــکاران ۲۰۰۶، a۲۰۰۷، b۲۰۰۷، مولینا و همکاران ۲۰۰۹، دانگ و همکاران ۲۰۱۴). روش‌های مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی با کاربرد پوشش‌گیاهی به طور سنتی براساس ارزیابی‌های اندام هوایی گیاه و معمولاً کیفی اســـت، درحالی که بررســـی‌های اندکی بر نقش توأم اندام های هوایی و زیرزمینی گیاهان در مهارکردن فرســـایش انجام شـــده است. نتیجه‌های ارزیابی توانایـــی گونه‌های گیاهی در مهارکردن فرســـایش در منطقه‌های خندقی چهل‌چشمه، دشـــت ارژن در استان فارس (قنواتی و همکاران ۱۳۹۳) نشـــان داد که از ۱۳ گونه‌ی گیاهی منطقه، *Scirpoides holoschoenus* به‌علت داشتن تراکم ســـاقه‌یی و ریشـــه‌یی زیاد برای مهارکردن جریان‌های متمرکز بسیار مناسب اســـت. نتیجه‌های زارع‌کیا و ابوالقاسمی (۱۳۹۹) نشـــان داد که گونه‌هایی از جنس علف-شـــور مانند *Salsola abarghuensis*، *S. yazdiana*، *S. arbusculiformis*، *S. dendroides*، *S. drummondi*، *S. imbricate*، *S. kerneri* و *S. richteri* بـــا ریشـــه‌دوانی گســـترده و تاج وســـیع نقش مؤثری در حفاظت خاک دارند. نتیجه‌های ارزیابی توانایی گیاهان در کاهش‌دادن فرســـایش خاک در منطقه‌های نیمه‌خشـــک حـــوزه‌ی کنارتخته در اســـتان فـــارس (فرهادی و همـــکاران ۲۰۱۸) نشـــان داد کـــه گونـــه‌ی کنار بوشـــهری (*Ziziphus spina-christi*) تـــوان زیـــادی در مهارکـــردن فرســـایش شـــیاری و خندقی دارد. نتیجه‌های بررسی گیسلز و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که ریشـــه‌ی گیاه به‌شیوه‌ی توانی باعث کاهش‌دادن نیروی آب می‌شـــود، و افزایش تراکم ریشه‌ی گیاه در خاک ســـطحی راه‌بردی اساسی در مهارکردن فرسایش اســـت. نتیجه‌های ارزیابی تاثیر ریخت‌شناســـی گیاه و شـــدت بارندگی

در هدررفـــت خـــاک در زمین‌هـــای بوتـــه‌زار در منطقه‌های نیمه‌خشـــک مدیترانه‌یی شرق اسپانیا (بوچت ۲۰۰۶) نشان داد که اندازه‌ی هدررفت خاک بر اثر بارندگی‌های طبیعی منطقه در کرت هـــای با گونه‌های *Rosmarinus officinalis*، *Stipa tenacissima* و *Anthyllis cytisoides* به‌ترتیب ۹۴/۳٪، ۸۸٪ و ۳۲/۲٪ کاهش یافت. نتیجه‌های ارزیابی توان ۲۵ گونه‌ی گیاهی در حوزه‌ی کاکاو در اســـپانیا با کاربرد شاخص‌های پنج-گانه‌ی تراکم ســـاقه، تراکم ریشـــه‌ی گیاه، قدرت ایجاد مانع در برابر موادمعلق، ســـفتی گیاه، و چســـبندگی ریشـــه (دی بتس و همـــکاران ۲۰۰۹) نشـــان داد کـــه *Stipa tenacissima*، *Lygeum spartum* و *Salsola genistoides* تـــوان زیادی در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی دارند. نتیجه‌های ارزیابی نقش گیاهان گرمســـیری بر اساس میانگین قطر، تراکم و تراکم طولی ریشـــه و نســـبت مساحت ریشـــه در مهارکردن فرســـایش در منطقه‌ی کوهستانی عثمانبارا در تانزانیا (موانگو و همکاران ۲۰۱۴) نشان داد که توان گیاه معروف به علف گواتمالا (*Tripsacum andersoni*) در مهارکردن فرسایش در برابر جریـــان متمرکز آب تا ژرفـــای ۰/۴ متر بیش‌تـــر از علف ناپیر (*Pennisettum purpureum*) یـــا بوته‌های تیتونیا اســـت. براســـاس نتیجه‌های گو و همکاران (۲۰۱۹) اندازه‌ی هدررفت خاک، طول عقب‌نشـــینی رأس و مساحت خندق و حجم خاک ازدســـت‌رفته در قطعه‌های با پوشش چمن گندمی تاج‌خروسی (*Agropyron cristatum*) با تراکم ریشه‌ی متفاوت، به‌ترتیب ۴۵/۶۴٪-۶۸/۴۵٪، ۶۶/۹۷٪ - ۸۵/۳۸٪، ۶۹/۲۶ ٪-۷۸/۱۸ ٪و ۶۷/۸۹٪-۸۷/۰۲٪، از منطقه‌های بی پوشش گیاهی کم‌تر است. توســـعه‌ی فرسایش شیاری و خندقی در شـــمال استان اردبیل در ۱۰۰۰۰ هکتـــار از زمین‌هـــای حاصل‌خیـــز منطقه‌ی مغان ضرورت انجام‌دادن هرچه ســـریع‌تر کارهایی برای کاهش‌دادن و مهارکردن فرســـایش را توجیه می‌کنـــد (طلایی و همکاران

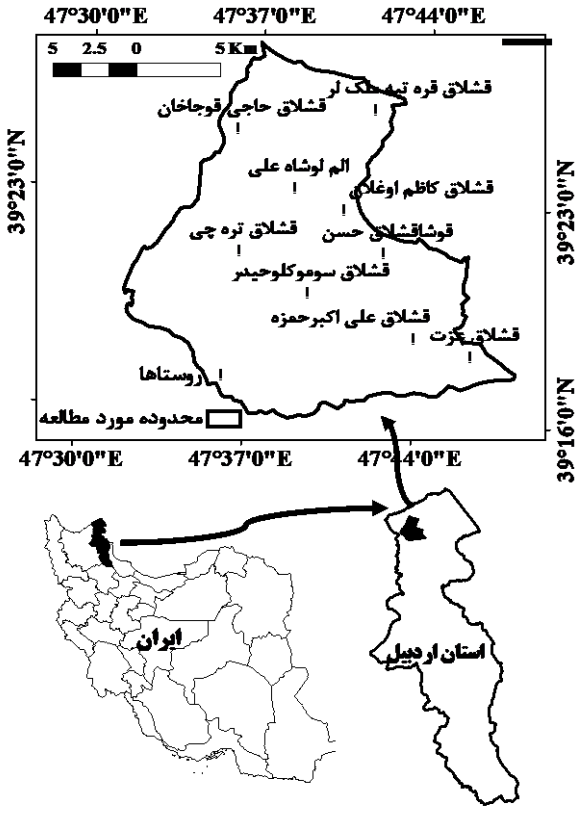
۲۰۱۴). در ایـــن منطقه نه‌تنها روش‌های زیست‌مهندســـی، که روش‌های کاهش‌دادن شدت فرسایش شیاری و خندقی بررسی نشده‌اســـت، و این پژوهش اولین بررســـی در این زمینه است. بنابراین، به‌دلیل شـــرایط منطقه و فعالیت شـــدید فرآیندهای فرسایشـــی در آن نیـــاز به کاربرد کنش‌های زیست‌مهندســـی، اجرای مدیریت یکپارچه‌ی آبخیزداری، و دادن شـــیوه‌نامه‌های مدیریتی برای افزایش‌دادن بهره‌وری با کاهش‌دادن فرســـایش اســـت. چون شـــناختی از گیاهان بومی نیست، و توان آن‌ها در کاهش‌دادن شـــدت فرسایش در اقلیم و شرایط محیطی منطقه نیز مشخص نیست، در این پژوهش نقش توأم اندام‌های هوایی و زیرزمینی (ریشه) گیاهان شاخص و بومی منطقه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک به‌شـــیوه‌ی کمّی ارزیابی، و ویژگی‌های ساختاری آن‌هایی که در کاهش میزان فرسایش خاک نقش دارند، معرفی شـــد. هدف‌های اصلی این پژوهش به‌طور خلاصه عبارت بود از شناســـایی و بررســـی گونه‌های گیاهی مهم در منطقه، ارزیابی کیفی و کمّی ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های شناسایی‌شده، شناخت توان گونه‌های گیاهی در کاهش‌دادن و مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی، و معرفی گونه‌های گیاهی مناســـب با هدف احیای پوشش در شـــرایط محیطی منطقه و زمین‌های همسایه و مشابه.

مناســـب‌ترین گیاهان برای کاربرد در مهارکردن فرســـایش به روش زیســـتی گونه‌های بومی و نامهاجم است (لیو و همکاران ۲۰۱۹). در این پژوهش نیز برای فهمیدن دقیق تاثیر ویژگی‌های اندام‌های گیاهان در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی، توان گیاهان بومی در مهارکردن فرســـایش در منطقه‌ی مغان استان اردبیل با کاربرد ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی پژوهش

منطقه‌ی مغان در ۸/۵ کیلومتری شـــرق دره‌ی رودبران بالا در ۲۰ کیلومتری مرز ایران و آذربایجان (″۴۴ ′۳۱ ۴۷ تا ″۱۰ ′۴۸ ۴۷ طول‌شـــرقی و ″۵۰ ′۱۵ ۳۹ تا ″۹ ′۲۹ ۳۹ عرض‌شمالی) در اســـتان اردبیل است. اقلیم آن خشـــک و نیمه خشک سرد است. خاک‌های منطقه رسی و بادرفتی، و در برابر فرسایش آبی بســـیار حساس و آسیب‌پذیر اســـت (طلایی و همکاران ۲۰۱۴) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی پژوهش در ایران و استان اردبیل.

روش پژوهش

این پژوهش در سه مرحله‌یی بررسی دفتری، بررسی آزمایشگاهی و کنش‌های صحرایی، و تجزیه‌وتحلیل نتیجه‌ها انجام گرفت. سازنده‌ی اصلی منطقه نهشته‌های رسوبی دوران چهارم است که منشاء آن‌ها معمولاً سنگ‌های آهک‌رسی و رس‌دار دوران سوم است. فرسایش‌پذیری این نهشته‌ها زیاد است و شکل‌های مختلف فرسایش به‌خصوص نوع شیاری و خندقی در بیش‌تر زمین‌های آن گسترش یافته است. از گیاهان هم در منطقه‌های با شکل‌های فرسایش شیاری و خندقی، و هم بی فرسایش نمونه برداشته‌شد. نمونه‌ها از بالای پیشانی خندق، از خط تقسیم آب تا پیشانی، و از بستر و کناره‌های راست و چپ آن‌ها گرفته‌شد. از زمین‌های با فرسایش شیاری و منطقه‌هایی مانند بستر آبراه‌ها و مسیل‌های موقت، شیب دامنه‌ها، و زمین‌های رهاشده نیز نمونه‌های گیاهی برداشته‌شد. تعداد ۲۰ گونه‌ی گیاهی از ۱۱ خانواده با فراوانی بیش از ۱۰٪ برای سنجش توانایی آن‌ها در مهارکردن فرسایش انتخاب و جمع‌آوری شد. گونه‌های گیاهی منطقه به گروه‌های گندمی، پهن‌برگ، بوته‌یی و درختچه‌یی تقسیم شد و از هر گونه نمونه‌هایی برای شناسایی به هرباریوم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان برده‌شد.

از هر گیاه دست کم ۵ نمونه با اندازه‌ی متوسط انتخاب، و پس از اندازه‌گیری‌های صحرایی به آزمایشگاه برده‌شد. در مرحله‌ی کارهای صحرایی متغیرهایی شامل تعداد و قطر ساقه‌ها در یقه‌ی هر گونه، مساحت کل اشغال‌شده با تصویر قائم از اندام هوایی گیاه روی زمین، سطح‌مقطع کل ریشه‌های اندازه‌گیری شده در خاک، و طول یا قطر بیشینه‌ی اندام هوایی گیاه روی خط عمود بر جریان آب در تصویر قائم اندام هوایی گیاه روی زمین اندازه‌گیری شد. در آزمایشگاه اندازه‌ی متغیرهای بیش ترین نیرو برای شکست ریشه، میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش، بیشینه‌ی نیروی واردشده برای خمیدگی ساقه برای قطرهای مختلف ساقه‌ها، میانگین قطر ریشه، جرم ریشه، که در کوره در دمای ۶۰ تا ۶۵ °C در ۲۴ ساعت خشک شد، و حجم خاک ریشه‌دار سنجیده‌شد. توان هر گونه‌ی گیاهی در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی با کاربرد متغیرهای اندازه‌گرفته در صحرا و آزمایشگاه (دی‌بتس و همکاران ۲۰۰۹، دی‌بتس و همکاران ۲۰۱۴، فرهادی و همکاران ۲۰۱۸) ارزیابی کرده‌شد. پنج شاخص کمّی براساس ویژگی‌های اندازه‌گرفته از اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان منطقه محاسبه شد. با مقایسه‌ی نسبی این شاخص‌ها، توان گونه‌های بومی منطقه در مهارکردن فرسایش ارزیابی شد.

شاخص‌های ارزیابی توان گونه‌های گیاهی در مهارکردن فرسایش

مقاومت زیاد در برابر جریان فرسایشی تمرکزیافته

تأثیر ریشه بر مقاومت خاک سطحی در برابر جریان تمرکزیافته‌ی فرسایشی با کاربرد تراکم ریشه (RD، کیلوگرم در مترمکعب ماده‌ی خشک) و قطر ریشه (D، متر)، و با محاسبه‌ی شاخص جداشدگی نسبی خاک (RSD) به‌مانند متغیر بیان شد. توان گونه‌های منطقه در کاهش‌دادن فرسایش در برابر جریان روان‌آب تمرکزیافته با کاربرد تراکم ریشه (RD)، قطر ریشه (D) در خاک سطحی و تراکم ساقه (SD، مترمربع بر مترمربع) سنجیده شد.

توان پایدارسازی دیواره‌ها و دامنه‌ها

برای ارزیابی تاثیر گیاهان منطقه بر پایداری دامنه‌ها یا پایداری دیواره‌ی خندق‌ها مقدار چسبندگی ریشه ("C" _"r" ، کیلوپاسکال)، که نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی قدرت ریشه در پایدارسازی دامنه است، برآورد کرده‌شد. برای سنجیدن این ویژگی نسبت مساحت ریشه (RAR، بی بعد) و مقاومت کششی ریشه ("T" _"r" ، مگاپاسکال) محاسبه شد. در این حالت تأثیر ریشه بر چسبندگی خاک تا ژرفای ۰/۳ تا ۰/۴ متری است، و این همان ژرفایی است که دیواره‌ی خندق در آن ناپایدار می‌شود.

آستانه‌ی خمیدگی بر اثر جریان آب

شاخص سفتی یا سختی (MEI، نیوتن) نماینده‌ی درجه‌ی مقاومت گیاه در برابر خمیدگی است. فرض براین است که هر اندازه ساقه‌ی گیاه سفت و سخت‌تر باشد، باعث می‌شود که گیاه در برابر جریان آب کم‌تر خمیده شود. به‌این ترتیب از اندازه‌ی کارمایه‌ی آب کاسته می‌شود، و اجازه‌ی جدا شدن بیش‌تر به ذره‌های خاک داده نمی‌شود.

توان به‌تله انداختن موادمعلق و آلی

در این معیار توان ایجاد مانع در برابر موادمعلق و آلی (SOP، متر بر متر) برای ارزیابی توانایی گیاه در به‌تله انداختن موادمعلق و آلی سنجیده‌شد. خلاصه‌ی رابطه‌های به‌کار رفته برای تحلیل چندمعیاری برای انتخاب گونه‌های مناسب در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی در جدول ۱ آورده شده‌است.

اندازه‌های برآوردشده برای هر شاخص در پنج رده (۰ تا ۴) طبقه‌بندی شد. در جدول ۲ محدوده‌ی تغییر اندازه‌ی شاخص های محاسبه‌شده و امتیازهای درنظر گرفته‌شده آورده شده‌است. امتیازهای زیاد (۳) و بسیار زیاد (۴) نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی است. برای مقایسه‌کردن توان گیاهان مختلف منطقه، امتیازهای هر شاخص برای هر گونه‌ی گیاه در نمودار ستاره‌یی با پنج محور مشخص و ترسیم شد. با مقایسه‌ی شکل و مساحت اشغال شده‌ی سطح ترسیم‌شده، گونه‌های گیاهی منطقه از دیدگاه توان مهارکردن فرسایش مقایسه و ارزیابی کرده‌شد. برای جمع بندی نتیجه‌ها در نمودارهای ستاره‌یی، گونه‌های گیاهی طبق امتیازهای داده‌شده

برحسب پنج شاخص با روش خوشه‌بندی، براساس اندازه‌ی تراکم ساقه (SD)، توان ریشه‌ی گیاه در کاهش فرسایش (RSD)، توان ایجاد مانع در برابر مواد معلق (SOP)، سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) گروه‌بندی کرده‌شد. طرح طبقه‌بندی کاملاً عددی بود، و تعداد گروه‌ها از قبل مشخص نبود. در این روش هیچ پیش‌فرضی درباره‌ی تعداد گروه‌ها یا ساختار آن‌ها در نظر گرفته نشد. گروه‌بندی براساس شباهت‌ها یا فاصله‌ها (نبود شباهت یا تجانس) انجام گرفت. برای طبقه‌بندی گروه‌ها الگوریتم سلسله‌مراتبی به‌کار برده شد. با محاسبه‌ی فاصله‌ی بین گونه‌های بررسی‌شده، براساس اندازه‌های امتیاز پنج شاخص آغاز شد، و برای گروه-بندی داده‌ها روش انباشتگی به‌کار برده شد. نتیجه‌های انباشتگی به روش تصویری با کاربرد روش نمودار دوبعدی (نمودار درختی)، نشان داده شد. فاصله‌ی تشابه در این بررسی ۵ در نظر گرفته شد.

جدول۱- معیارها و شاخص‌های ارزیابی توان گیاهان در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی براساس ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان.

معیارها	شاخص‌ها (نشانه‌ها)	رابطه‌های محاسبه براساس ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان	
		بوته‌یی و درختچه‌یی	گندمیان و پهن‌برگ‌های علفی
ایجاد پایداری در دیواره و دامنه	توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها (C_r)		$C_r=1.2\frac{\sum_i^n T_{ri}\times A_{rti}}{A_r}$
مقاومت در برابر خمیدگی بر اثر جریان آب	درجه‌ی مقاومت گیاه در برابر خمیدگی با جریان آب سفتی یا سختی گیاه (MEI)	$MEI_{shrub}=\frac{\sum_i^n I_i E_{mod}}{A_r}$	$MEI_{grass}=ME_{mod}l$
مقاومت در برابر جریان فرسایشی تمرکزیافته	تراکم ساقه، اندازه‌ی مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی (SD)	$SD_{shrub}=\frac{\sum_i^n \pi(d_{si}/2)^2}{A_r}$	$SD_{grass}=\frac{\frac{A_b}{A_s}(n_s\times\pi(\frac{\bar{d}_s}{2}))^2}{A_r}$
	توان کاهش فرسایش در برابر جریان تمرکزیافته با ریشه‌ی گیاه (RSD)		$RSD=e^{-1.45\,RD}_{1<D<5}\times e^{-0.47\,RD}_{5<D<15}$
توان به‌تله انداختن موادمعلق و آلی	توان ایجاد مانع در برابر جریان موادمعلق (SOP)	$SOP_{shrub}=\frac{\sum d_{s,i}}{L_{tot}}$	$SOP_{grass}=\frac{L_b\times n_{1\,cm}\times\bar{d}_s}{L_{tot}}$

A_{rt}: سطح مقطع کل ریشه‌های اندازه‌گیری شده در خاک (مترمربع)؛ A_r: مساحت کل اشغال‌شده با تصویر قائم از اندام هوایی گیاه روی زمین (مترمربع)، T_{ri} و A_{rti} اندازه‌های T_r و A_{rt} برای هر طبقه از رده‌های قطر ریشه، (طبقه‌ی i) و n تعداد طبقه‌های قطر ریشه؛ T_r: تنش کششی کل رشته‌های ریشه در واحد سطح خاک (مگا پاسکال) که با رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$T_r=\frac{F_{max}}{\pi(\frac{D^2}{4})}$$

F_{max} : نیروی بیشینه برای شکست ریشه (نیوتن)، D: میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش (میلی‌متر).

$$E_{mod}=\frac{L^3(dF/dY)}{12\pi r^4}$$

E_{mod} ضریب کشسانی، که با آزمون تعیین اندازه‌ی خمیدگی ساقه به روش سه نقطه‌یی سنجیده شد (پاسکال)، L: فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی ثابت در دستگاه اندازه‌گیری خمیدگی ساقه (متر)، F: نیروی واردشده به‌نمونه (نیوتن)، Y: اندازه‌ی جابه‌جایی در جهت عمودی (متر)، r: شعاع ساقه (متر).

$$I=\frac{\pi d_s^4}{64}$$

I : گشتاور دوم ماند برای ساقه‌های با مقطع دایره‌یی (m^4)، d_s: قطر ساقه در پایه‌ی گیاه (متر). و: تعداد ساقه‌ها در سطح تصویر قائم از اندام هوایی گیاهان علوفه-یی در واحد سطح.

d_{si}: قطر ساقه در پایه‌ی گیاه (متر)، n_s: تعداد ساقه‌ها در یک قطعه‌ی افقی به مساحت A_s ، A_s: سطح مقطع ۵ سانتی مترمربعی از ساقه‌های پایه‌یی گیاه (مترمربع) $\bar{d}_s$: قطر متوسط ساقه در پایه‌ی گیاه (متر)، A_b: مساحت اشغال‌شده با ساقه‌های گیاهی از گندمیان (مترمربع)

D: میانگین قطر ریشه، RD: تراکم ریشه (کیلوگرم به مترمکعب) که با رابطه‌ی زیر محاسبه شد.

$$RD=\frac{M_D}{V}$$

M_D : جرم ریشه (کیلوگرم) که در کوره در دمای ۶۰ تا ۶۵ C° در ۲۴ ساعت خشک شد، V: حجم خاک ریشه دار (متر مکعب). برای گیاهانی با قطر ریشه‌ی کم‌تر از ۱ میلی‌متر ($D<1$ mm) رابطه‌ی $RSD=e^{-2.58\,RD}$ به‌کار برده شد.

L_{tot}: طول یا قطر بیشینه‌ی اندام هوایی گیاه روی خط عمود بر جریان آب (متر) که روی تصویر قائم اندام هوایی گیاه روی زمین اندازه‌گیری شد، $n_{1\,cm}$: تعداد ساقه‌ها (در واحد طول ۱ سانتی‌متر)، L_b: طول اشغال‌شده با ساقه‌ها روی خط افقی عمود بر جهت جریان در پایه‌ی گیاه (متر) .

برای سنجش اندازه‌ی خمیدگی ساقه بر اثر نیروی جریان آب و مقاومت کششی ریشه‌ها دستگاه‌های طراحی و ساخته‌شده در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل به‌کار برده شد.

جدول ۲- محدوده‌ی تغییر اندازه‌های شاخص‌ها و امتیازدهی آن‌ها (دی بتس و همکاران ۲۰۰۹).

SD	SOP	RSD	MEI	C_r	امتیازها	درجه‌ها
۰/۰-۰/۰۰۱	۰/۰ -۰/۰۵	بزرگ‌تر از ۰/۵۰	۰/۰ -۰/۲۵	۰/۰ -۰/۱	۰	بسیار کم
۰/۰۰۱ -۰/۰۰۲	۰/۰۵ -۰/۰۷۵	۰/۵۰ -۰/۲۵	۰/۲۵ -۱	۰/۱-۱	۱	کم
۰/۰۰۲ -۰/۰۰۳	۰/۰۷۵ -۰/۱۰	۰/۲۵ -۰/۱۰	۱۰-۱	۵-۱	۲	متوسط
۰/۰۰۳ -۰/۰۰۷	۰/۱۰ -۰/۱۵	۰/۱۰ -۰/۰۱	۲۵-۱۰	۱۰-۵	۳	زیاد
بزرگ‌تر از ۰/۰۰۷	بزرگ‌تر از ۰/۱۵	۰/۰ -۰/۰۱	بزرگ‌تر از ۲۵	بزرگ‌تر از ۱۰	۴	بسیار زیاد

الف)

ب)

ج)

شکل ۲- سه گونه‌ی گیاهی مهم در منطقه (الف) کنگر هرز (*Cirsium arvense* (L.) Scop.)، (ب) علف‌شور (*Salsola dendroides*) و (ج) زلف‌پیر ریش‌دار (*Stipa arabica*).

نتایج و بحث

در شمال استان اردبیل در منطقه‌ی مغان شکل‌های فرسایش شیاری و خندقی در مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار گسترش وسیعی دارند (شکل ۱). در کل منطقه، چه درگیر فرسایش و چه بی فرسایش، گونه‌های گیاهی یکسانی رشد کرده‌اند. در مجموع ۲۰ گونه گیاه از ۱۱ خانواده شناسایی شد (جدول ۳). شکل رویشی نُه گونه‌ی گیاهی، پهن‌برگ چندساله، سه گونه پهن‌برگ یک‌ساله، سه گونه بوته‌یی چندساله، سه گونه گندمی چندساله، یک گونه گندمی یک‌ساله، و یک گونه درختچه‌یی است. شکل زیستی ۱۱ گونه نیمه نهان‌رست (همی‌کریپتوفیت)، چهار گونه پای رست (کامه‌فیت)، چهار گونه کم زی (تروفیت)، و تنها یک گونه پیدا رست (فانروفیت) است. نمایی کلی از سه گونه‌ی کنگر هرز (*Cirsium arvense* (L.) Scop.)، علف‌شور (*Salsola dendroides*) و زلف‌پیر ریش‌دار (*Stipa arabica*) در شکل ۲ نشان داده شده است. ویژگی‌های اندام‌های هوایی و ریشه‌یی در گونه‌های گیاهی بررسی‌شده متفاوت بود، که باعث می‌شود توان گیاهان در مهارکردن فرسایش و تثبیت خاک تغییر کند. اندازه‌های کمّی برآوردشده برای شاخص‌های پنج‌گانه در جدول ۴ نشان داده شده است.

اندازه‌های تراکم ساقه بین ۰/۰۹۱۲٪ و ۲۸٪ تفاوت داشت. بیش‌ترین تراکم ساقه در علف‌بره، ملیکای بلند و زلف‌پیر ریش‌دار بود. اندازه‌های توان ایجاد مانع در برابر روان‌آب بین ۰/۰۰۸۲٪ و ۶۹/۶٪ تفاوت داشت. ملیکای بلند و گل-ماهور سنبله‌یی، علف‌بره و درمنه‌ی معطر توان بسیار زیادی در ایجاد مانع در برابر روان‌آب دارند. ملیکای بلند و علف-بره به‌شیوه‌ی گندمی چندساله و درمنه‌ی معطر و گل‌ماهور نیز به شکل بوته‌یی رشد می‌کنند. اندازه‌های شاخص سفتی یا سختی برای گونه‌های درمنه‌ی معطر، زلف‌پیر ریش‌دار، خارشتر، جارو علفی هرز، کاهوی وحشی، اسپند و خاکشیر لغزان کم بود، که نشان‌دهنده‌ی توان اندک این گونه‌ها در برابر نیروی برشی جریان آب است. معمولاً شاخص توان کاهش فرسایش (RSD) در ریشه‌ی برخی از گیاهان کم است، ازین رو توان زیادی در افزایش مقاومت خاک سطحی در برابر جریان فرسایشی تمرکز یافته دارند. درمنه‌ی معطر، زلف‌پیر ریش‌دار، خارشتر، علف‌بره، اسپند، ملیکای بلند، علف جارو، و گل‌گندم بوته‌یی با شکل رویشی گندمی و پهن‌برگ چندساله، توان زیادی در مهارکردن فرسایش در برابر جریان‌های متمرکز آب دارند. توان افزایش پایداری دیواره‌ها در دو گونه‌ی گز با شکل رویشی درختچه‌یی، و علف‌شور با شکل رویشی بوته‌یی چندساله باعث پایداری خاک‌ها در ژرفای بیش از ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر می‌شود.

مقایسه‌ی نمودارهای ستاره‌یی شاخص‌های برآوردشده نشان می‌دهد که گونه‌های علف شور، گز، ملیکای بلند، گل‌ماهور و علف‌بره که مساحت درون منحنی آن‌ها بزرگ‌تر از سایر گونه‌ها است، برای مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی مناسب است (شکل ۴). علف‌شور و گز در محدوده‌های با فرسایش شیاری و خندقی در همه‌ی دامنه‌های با درجه‌های شیب مختلف، و در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها رشد می‌کنند. بیش‌ترین رشد این گونه‌ها در مسیر رودخانه‌ها، مسیل‌ها و کف خندق‌ها است که در

آن‌ها رطوبت به نسبت زیاد است. علف‌شور و گز هرچند نسبت به‌سایر گونه‌های بررسی‌شده توان زیادی در مهارکردن فرسایش در دیواره‌ها و ناپایداری شیب‌ها دارند، تراکم ساقه‌ی آن‌ها و توان آن‌ها برای ایجاد مانع در برابر موادمعلق کم است. ملیکای بلند و علف‌بره بیش‌ترین توان را در برابر نیروی برشی جریان آب دارند و می‌توانند مانع جدی در برابر جریان موادمعلق باشند، اما توانایی اندکی در مهارکردن ناپایداری دیوار خندق‌ها یا شیب‌ها دارند. گل‌ماهور سنبله‌یی، خارشتر و درمنه‌ی معطر می‌توانند با ریشه‌ی خود فرسایش را در برابر جریان تمرکزیافته‌ی آب کاهش دهند، و مانعی در برابر جریان موادمعلق و ذره‌های جامد ایجاد کنند. هر سه گونه چندساله اند.

گونه‌های زلف‌پیر ریش‌دار، کنگر هرز و اسپند به‌دلیل تراکم زیاد ریشه، یعنی نسبت زیاد جرم ریشه به حجم خاکِ دربرگیرنده، توان زیادی در کاهش‌دادن فرسایش در برابر جریان‌های تمرکزیافته دارند. توان علف‌مار، گل‌گندم بوته‌یی و علف‌جارو نیز در کاهش‌دادن اثر جریان‌های تمرکزیافته‌ی آب زیاد است. خارمریم گیاه پهن‌برگ چندساله است که به‌دلیل تراکم نسبتاً زیاد آن می‌توان پیش‌بینی کرد که توان آن در برابر نیروی بُرشی آب و ایجاد مانع در برابر موادمعلق متوسط باشد. جارو علفی هرز، گلرنگ وحشی، کاهوی وحشی، و خاکشیر لغزان گونه‌های یک‌ساله اند، و اندازه‌ی شاخص‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ممکن نیست توان آن‌ها در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی زیاد باشد. دو گونه‌ی شیرسگ و شاه‌تره نیز اگرچه چندساله اند، توان اندام‌های هوایی و زیرزمینی آن‌ها در تثبیت خاک زیاد نیست.

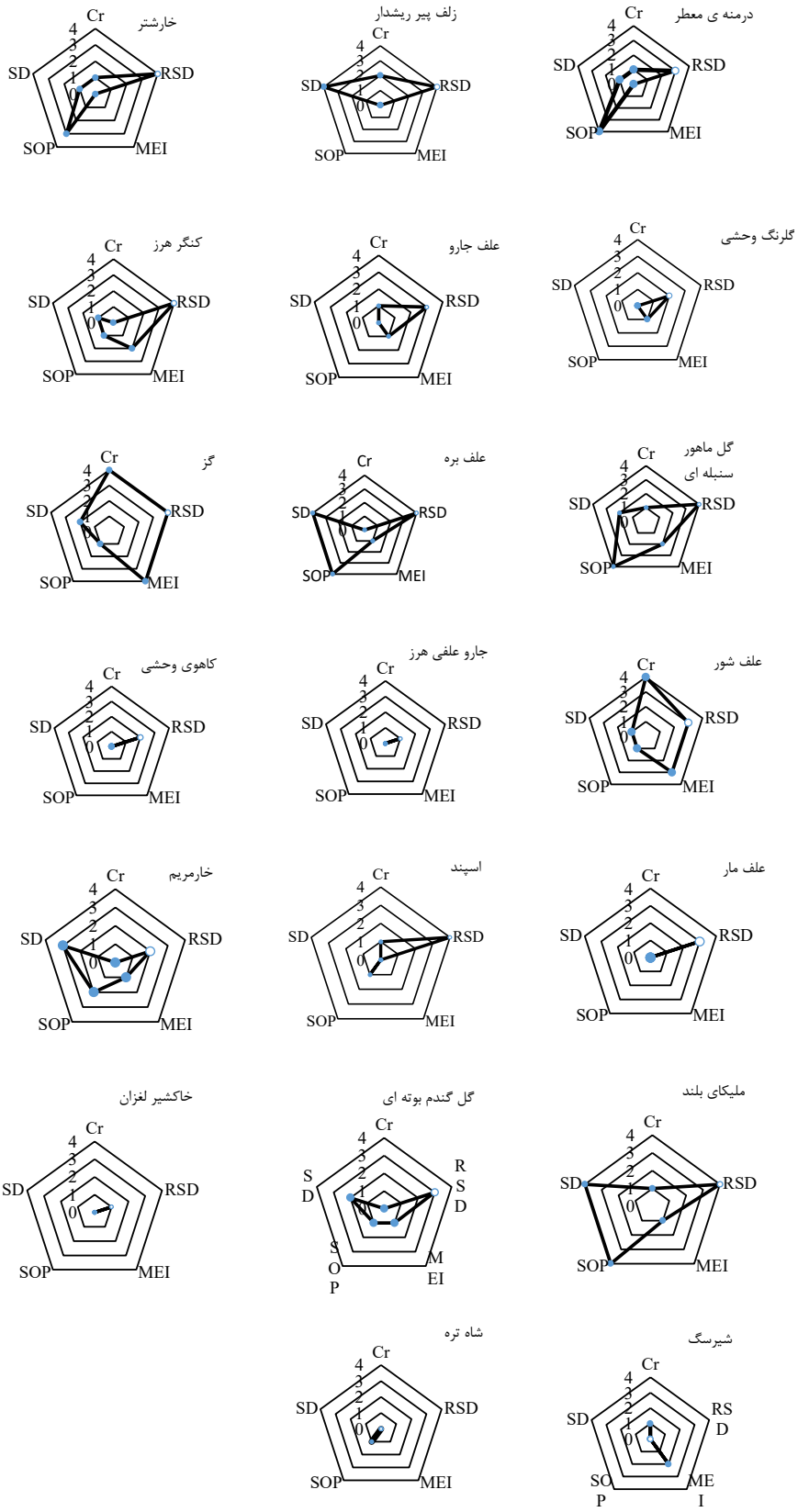
جدول ۳- خانواده‌ها و گونه‌های شناسایی‌شده از منطقه (جمع‌آورده در ۱۳۹۵-۱۳۹۹) و شکل زیستی و رویشی آن‌ها.

نام فارسی	خانواده	گونه	شکل زیستی	شکل رویشی
درمنه‌ی معطر	Compositae	*Artemisia fragrans* Willd.	Ch	بوته‌یی
زلف‌پیر ریش‌دار	Graminae	*Stipa arabica* Trin. & Rupr. var. arabica	He	گندمی چندساله
خارشتر	Fabaceae	*Alhagi camelorum* Fisch.	Ch	پهن‌برگ چندساله
گلرنگ وحشی	Compositae	*Carthamus tinctorius* L.	Th	پهن‌برگ یک‌ساله
علف‌جارو	Compositae	*Kochia prostrata* (L.) Schrad.	Ch	پهن‌برگ چندساله
کنگر هرز	Compositae	*Cirsium arvense* (L.) Scop.	He	پهن‌برگ چندساله
گل‌ماهور سنبله‌یی	Scrophulariaceae	*Verbascum stachydifome* Boiss. & Buhse.	He	بوته‌یی
علف‌بره	Graminae	*Festuca ovina* L.	He	گندمی چندساله
گز	Tamaricaceae	*Tamarix ramosissima* Ledeb.	Ph	درختچه‌یی
علف‌شور	Chenopodiaceae	*Salsola dendroides* Pall.	Ch	بوته‌یی
جاروی علفی هرز	Poaceae	*Bromus danthoniae* Trin.	Th	گندمی یک‌ساله
کاهوی وحشی	Compositae	*Lactuca serriola* L.	Th	پهن‌برگ یک‌ساله
علف‌مار	Capparidaceae	*Caparis spinsoa* L.	He	پهن‌برگ چندساله
اسپند	Zygophyllaceae	*Peganum harmala* L.	He	پهن‌برگ چندساله
خارمریم	Compositae	*Silybum marianum* (L.) Gaertn.	He	پهن‌برگ چندساله
ملیکای بلند	Gramineae	*Melica altissima* L.	He	گندمی چندساله
گل‌گندم بوته‌یی	Compositae	*Centaurea virgata* Lam.	He	پهن برگ چندساله
خاکشیر لغزان	Cruciferae	*Sisymbrium altissimum* L.	Th	پهن‌برگ یک‌ساله
شیرسگ	Euphurbiacea	*Euphorbia boissieriana* (Woron.) Prokh.	He	پهن‌برگ چندساله
شاه‌تره	Frankeniaceae	*Frankenia hirsute* L.	He	پهن‌برگ چندساله

پیدا رست (Ph: Phanerophyte): گیاهان خودپرور، آوندی، چوبی یا چندساله‌ی علفی که بیش از ۵۰ سانتی‌متر رشد می‌کنند یا گیاهانی که نوساقه‌های آن‌ها دوره‌یی تا این ارتفاع از بین نمی‌روند. پای رست (Ch: Chamaephyte): گیاهان خودپرور، آوندی، علفی همیشه‌سبز که سامانه‌ی نوساقه‌یی یا شاخه‌یی آن‌ها در ۵۰ سانتی‌متری سطح زمین می‌ماند، یا گیاهانی که بیش از ۵۰ سانتی‌متر رشد می‌کنند، اما نوساقه‌ها تا این ارتفاع دوره‌یی ازبین می‌روند. نیمه‌نهان رست (He: Hemicriptophyte): گیاهان خودپرور، آوندی، علفی چندساله، با تحلیل‌رفتن دوره‌ی نوساقه که به شکل مانده‌های سامانه‌ی نوساقه‌یی که به حالت نسبتاً گسترده روی سطح زمین می‌مانند. کم زی (Th: Therophyte): یک‌ساله، گیاهانی که سامانه‌ی ریشه‌یی و نوساقه‌ی آن‌ها پس از تولید بذر از بین می‌رود و چرخه‌ی حیاتی خود را در یک‌سال کامل می‌کنند.

جدول ۴- اندازه‌ها و امتیازهای شاخص‌های پنجگانه‌ی ۲۰ گونه گیاه بومی منطقه و ارزیابی توان آن‌ها در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی.

گونه	ویژگی‌های گیاهان									
	SD		SOP		MEI		RSD		Cr	
	تراکم ساقه	امتیاز	توان ایجاد مانع در برابر روان‌آب	امتیاز	سفتی گیاه	امتیاز	توان کاهش‌دادن فرسایش	امتیاز	توان افزایش-دادن پایداری دیواره‌ها	امتیاز
درمنه‌ی معطر	۰/۰۰۱۷۳	۱	۰/۱۶۲۲	۴	۰/۰۶۴۴۲	۰	$۳/۱۶۵\times ۱۰^{-۲}$	۳	۰/۲۸۸	۱
زلف‌پیر ریش‌دار	۰/۰۰۷۸	۴	۰/۰۰۱۲۸	۰	$۳/۶\times ۱۰^{-}$۷۸۹	۰	$۶/۲۴\times ۱۰^{-}$۶۸	۴	۱/۷۹۵	۲
خارشتر	۰/۰۰۱۴۶۴	۱	۰/۱۳۵۲	۳	$۱/۶\times ۱۰^{-}$۶۹۳	۰	۱۰×۳^{-۹}	۴	۰/۱۰۵	۱
گلرنگ وحشی	$۱/۴\times ۱۰^{-}$۴۶۳	۰	۰/۰۱۱۸۳	۰	۰/۳۵۴۷	۱	۰/۲۰۶	۲	۰/۰۴۶۶	۰
علف‌جارو	$۲/۴\times ۱۰^{-}$۱۰۸	۰	$۸/۵\times ۱۰^{-}$۲۷۵	۰	۰/۵۵۹	۱	۰/۰۳۹۶	۳	۰/۱۷۶	۱
کنگر هرز	$۱/۳\times ۱۰^{-}$۴۱۱	۱	۰/۰۷۲۲	۱	۱/۶۴۴	۲	$۷/۶\times ۱۰^{-}$۴۴	۴	۰/۰۷۸۲	۰
گل‌ماهور سنبله‌یی	$۲/۳\times ۱۰^{-}$۶۲۵	۲	۰/۳۰۰	۴	۶/۱۰۱	۲	$۲/۵\times ۱۰^{-}$۳۵۳	۴	۰/۴۲۴	۱
علف‌بره	۰/۲۸۰	۴	۰/۴۵۰۰	۴	۰/۵۷	۱	۰/۰۰ <۰/۰۱	۴	۰/۰۳۲	۰
گز	۰/۰۰۲۳	۲	۰/۰۵۲۳	۱	۲۷/۱۳۴	۴	$۶/۸\times ۱۰^{-}$۰۵۹	۴	۳۴/۶۲۶	۴
علف‌شور	۰/۰۰۱۱۸	۱	۰/۰۶۱۳	۱	۲۳/۸۵۷	۳	۰/۰۹۶۵	۳	۱۹/۶۱	۴
جارو علفی هرز	$۹/۴\times ۱۰^{-}$۱۲۱	۰	۰/۰۰۲۷۳	۰	۰/۰۳۱۷	۰	۰/۳۱۴۵	۱	$۳/۳\times ۱۰^{-}$۰۵۵	۰
کاهوی وحشی	$۳/۴\times ۱۰^{-}$۰۵۰	۰	۰/۰۱۷۴	۰	۰/۰۱۴۷	۰	۰/۱۸۶	۲	$۵/۴\times ۱۰^{-}$۴۳۲	۰
علف‌مار	$۴/۴\times ۱۰^{-}$۳۳۵	۰	۰/۰۲۰۴	۰	۰/۰۸۶۲	۰	۰/۰۶۰۰	۳	۰/۰۳۱۶	۰
اسپند	$۴/۴\times ۱۰^{-}$۷۲۲	۰	۰/۰۵۵	۱	۰/۰۲۸۵	۰	$۱/۵\times ۱۰^{-}$۴۱۲	۴	۰/۱۲۲۵۶	۱
خارمریم	۰/۰۰۳۸۸	۳	۰/۰۷۶۳	۲	۰/۹۲۷۳	۱	۰/۱۵۳۴	۲	۰/۰۱۵۶	۰
ملیکای بلند	۰/۰۱۲۷	۴	۰/۶۹۶	۴	۰/۴۲۶	۱	$۶/۱۳\times ۱۰^{-}$۵۰۴	۴	۰/۲۲۴	۱
گل‌گندم بوته‌یی	۰/۰۰۲۷۱	۲	۰/۰۵۲۰	۱	۰/۴۵۲۴	۱	۰/۰۴۳۴	۳	۰/۰۷۲۲۵	۰
خاکشیر لغزان	$۶/۴\times ۱۰^{-}$۷۵	۰	۰/۰۲۶	۰	۰/۰۷۳۰	۰	۰/۳۴۶	۱	۰/۰۱۴۲	۰
شیرسگ	$۶/۴\times ۱۰^{-}$۲۴۹	۰	۰/۰۱۶۶	۰	۳/۹۳	۲	۱۰/۱۰۷۶	۰	۰/۱۴۱۳۲	۱
شاه‌تره	$۷/۴\times ۱۰^{-}$۲۰	۰	۰/۰۵۳۱۲۵	۱	۰/۰۰۵۵۹	۰	۰/۰۰۱۱۹۹	۰	۰/۰۴۲۵۲	۰



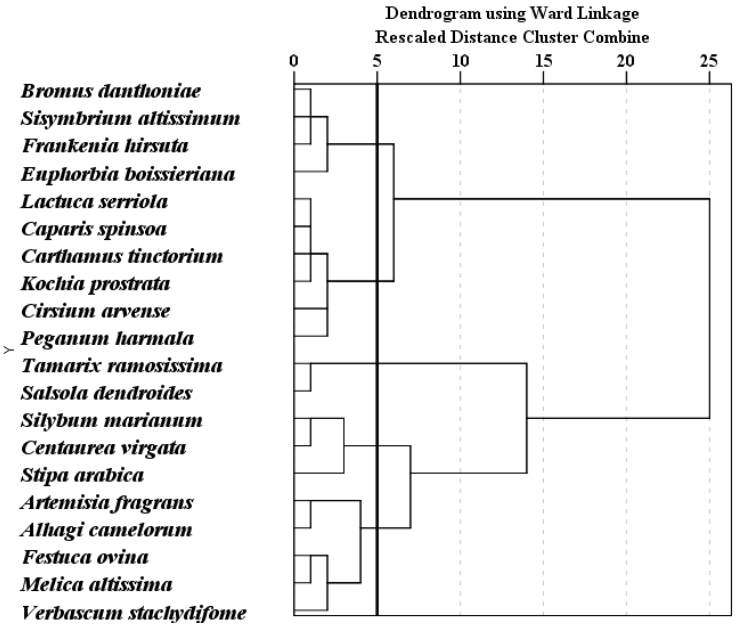
شکل ۴- نمودارهای ستاره‌یی نشان دهنده‌ی توان گونه‌های بررسی‌شده در مهارکردن فرسایش.

تجزیه به خوشه‌ها

توان گونه‌ها در مهارکردن فرسایش با نمودارهای ستاره‌یی مقایسه و ارزیابی کرده‌شد. برای گروه‌بندی گونه‌ها در طبقه‌های با توان کم، متوسط و زیاد فاصله‌ی تشابه آن‌ها محاسبه و در نمودار درختی نشان داده شد (شکل ۵). با مشاهده‌ی نمودار درختی و با درنظر گرفتن فاصله‌ی تشابه ۵، گیاهان منطقه در پنج خوشه یا گروه طبقه‌بندی شد. گیاه گندمی یک‌ساله‌ی جاروی علفی هرز و پهن‌برگ یک‌ساله‌ی خاکشیر لغزان، شیرسگ، و شاه‌تره با شکل رویشی پهن برگ چندساله در گروه اول جا گرفتند. در دو نمونه‌ی اول این خوشه امتیاز شاخص "RSD" (توان کاهش فرسایش در برابر جریان متمرکز آب به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه) ۱، و امتیاز سایر شاخص‌ها ۰ بود. امتیاز شیرسگ برای سفتی گیاه ۲ و برای ایجاد پایداری در دیواره‌ها ۱ بود. در شاه‌تره تنها امتیاز شاخص تجمع موادمعلق و جامد ۱، و امتیاز بقیه‌ی شاخص‌ها ۰ بود. بنابراین، این چهارگیاه توان لازم برای مهارکردن فرسایش ندارند.

در گروه دوم کاهوی وحشی، علف‌مار، گلرنگ وحشی، علف‌جارو، کنگر هرز، و اسپند است. گلرنگ وحشی و کاهوی وحشی پهن‌برگ یک‌ساله می‌روید و بقیه پهن‌برگ‌های چندساله است. اندازه‌های شاخص "RSD" در همه‌ی شش گونه‌ی گروه دوم متوسط تا زیاد (درجه‌های ۲، ۳ و ۴) برآورد شد. علف‌شور و گز امتیاز زیادی در ایجاد پایداری در دیواره‌ها گرفت، و مقاومت زیادی در برابر خمیدگی در جریان آب دارد. در گروه چهار پهن‌برگ‌های چندساله‌ی خارمریم و گل‌گندم بوته‌یی، و گندمی چندساله‌ی زلف‌پیر ریش‌دار در یک مجموعه جا گرفت، که توانایی آن‌ها در برابر جریان‌های تمرکزیافته متوسط تا قوی است.

در بین گیاهان گروه پنج درمنه‌ی معطر، گل‌ماهور سنبله‌یی بوته‌یی، و خارشتر پهن‌برگ چند ساله، و ملیکای بلند و علف‌بره گندمی چندساله است. این گونه‌ها علاوه بر این که توان زیادی در ایجاد مانع در برابر موادمعلق دارند، در برابر جریان‌های تمرکزیافته نیز مقاومت زیادی نشان می‌دهند.



شکل ۵- نمودار درختی گروه‌بندی گونه‌ها براساس امتیازدهی شاخص‌های پنج‌گانه با روش وارد.

نتیجه‌ی بررسی‌ها در جاهای دیگر ایران و دنیا نشان داده است که احیای پوشش‌گیاهی در منطقه‌هایی که خاک در آن‌ها تخریب شده‌است نیازمند احیای دوباره‌ی پوشش با گیاهانی است که توان رشد و نمو در خاک‌های ضعیف را دارد و با شرایط منطقه سازگار است (فرهادی و همکاران ۲۰۱۸). اگر از روان‌آب فرسایش‌دهنده و چرای بی‌رویه‌ی دام جلوگیری شود، پوشش گیاهی طبیعی در منطقه‌های فرساییده احیا می‌شود (گومید و همکاران ۲۰۱۴)، اما به‌علت خشکی منطقه و کُندبودن رشد و نمو و جاگیری گونه‌های بومی، بهتر است برای تسریع در جاگیری، گونه‌های خاصی از گیاهان منطقه کاشته شود. کارهای زیستی مناسب در این منطقه در وهله‌ی اول مستلزم انتخاب گونه‌های گیاهی با توان زیاد در مهارکردن فرسایش است. در انتخاب گونه‌ی گیاهی برای احیای خاک‌های فرسوده ممکن است متغیرهای زیادی تاثیرگزار باشد.

از آن‌جا که با توسعه‌ی فرسایش از شکل سطحی به شیاری و خندقی، نقش گیاهان در مهارکردن روان‌آب و هدررفت خاک از اندام‌های هوایی به ریشه تغییر می‌یابد (لیو و همکاران ۲۰۱۸)، نقش هر دو اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان در مهارکردن فرسایش ارزیابی شد (دی بتس و همکاران، ۲۰۰۹، موانگو و همکاران ۲۰۱۴). برخلاف اندام هوایی، نقش اندام زیرزمینی گیاه در کاهش‌دادن فرسایش کم‌تر در پژوهش‌ها بررسی شده است (کاتووال و همکاران ۲۰۱۳). پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که اندام‌های هوایی در کاهش‌دادن فرسایش پاشمانی و بین شیاری موثر است، و ریشه‌ی گیاهان فرسایش شیاری و خندقی را مهار می‌کند (لیو و همکاران ۲۰۱۸). نتیجه‌ی برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاثیر ریشه در کاهش‌دادن فرسایش در زمین‌های جنگلی بیش‌تر از اندام‌های هوایی است، اما تاثیر آن در زمین‌های مرتعی تقریباً برابر است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۴). اهمیت ریشه‌ی گیاه در مهارکردن فرسایش هنگامی مشخص می-شود که اندام‌های هوایی بر اثر عامل‌های مختلف از جمله خشک‌سالی و سیل از بین برود، به‌خصوص در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک که ریشه نقش تعیین‌کننده‌یی در کاهش‌دادن فرسایش دارد (دی بتس و همکاران۲۰۱۴). در منطقه‌ی مغان گونه‌های بومی با داشتن صفت‌های گیاهی مناسب برای مهارکردن فرسایش، به‌ویژه شکل‌های شیاری و خندقی، و با درنظر گرفتن سازگاری به شرایط خشکی و کم آبی، سرشت خاک، جاگیری در کوتاه‌مدت، خوش‌خوراکی و سهولت در احیاشدن طبیعی یا کاشت معرفی شد. برای اطمینان از اثربخشی احیای زیستی در منطقه‌های فرساییده، کاشت ترکیبی گونه‌های گیاهی توصیه شده است. معمولاً همه‌ی گونه‌های بومی منطقه در همه‌ی شاخص‌های پنج‌گانه بیش‌ترین امتیاز را نمی‌گیرند، ازین رو با کاشت ترکیبی گونه‌ها امکان جمع‌شدن توان مهارکردن فرسایش فراهم می‌شود و احتمال موفقیت افزایش می‌یابد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گونه‌های گز و علف‌شور با ریشه‌ی متراکم و ژرف برای مهارکردن فرسایش شیاری، خندقی و دامنه‌های با شیب تند موثر است. گوچ بلاق (۲۰۰۳) و دی بتس و همکاران (۲۰۰۸) نیز به‌دلیل ریشه‌ی متراکم و نسبتاً ژرف گیاه درختچه‌یی گز، به‌ویژه در مرحله‌های اول رشد، آن را برای مهارکردن فرسایش در اقلیم خشک و نیمه‌خشک بسیار مناسب دانستند. ازین رو تراکم زیاد و نفوذ ریشه‌ی گز تا ژرفای بیش از ۰/۵ متر، این گیاه را برای مهارکردن فرسایش به‌خصوص پایداری دیواره‌ی خندق‌ها، دامنه‌های شیب‌دار و ساحل رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه مناسب می‌سازد. بررسی‌های مشابه نشان می‌دهد که ریشه‌های درختچه‌ی گز ممکن است ضریب ایمنی پایداری را نسبت به خاک بی ریشه افزایش دهد (اکرمیان و همکاران ۲۰۱۹)، زیرا ریشه‌ها با پیونددادن لایه‌های سطحی خاک به لایه‌های ژرف‌تر و سنگ بستر، جلوی فرسایش و لغزش توده‌ی خاک را می‌گیرند (حسینی و همکاران ۲۰۱۴). نتیجه‌های دی بتس و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان می‌دهد که علف‌شور که در منطقه‌ی مغان گسترش زیادی دارد ممکن است در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی، به‌خصوص در دامنه‌های با شیب تندتر بسیار موثر باشد. این گیاه در برابر جریان فرسایشی تمرکزیافته و خمیدگی در برابر جریان روان‌آب مقاومت زیادی نشان می‌دهد. از مهم‌ترین ویژگی‌های این گیاه رشد دوباره‌ی آن بعد از آتش‌سوزی، چرای دام و حتا برداشت است. علف‌شور که معمولاً با خاصیت دارویی معرفی می‌شود، با این که مصرف تغذیه‌یی برای دام‌های به‌جز شتر ندارد، به‌دلیل شور و قلیایی بودن خاک‌های منطقه ممکن است گونه‌ی مهارکننده‌ی فرسایش دانسته شود. همراه با این گونه و هرگونه‌ی دیگری، کاشت گندمیان چندساله مانند زلف‌پیر ریش‌دار ممکن است هم شدت فرسایش را به‌طور معنی‌دار کم کند، و هم در تولید علوفه مفید باشد.

گونه‌های گل‌ماهور سنبله‌یی، درمنه‌ی معطر، خارشتر، علف‌بره، زلف‌پیر ریش‌دار و ملیکای بلند نیز توان زیادی در به‌تله انداختن موادمعلق و آلی و مهارکردن فرسایش دارند. معمولاً ریشه‌ی این گیاهان با کاهش‌دادن اندازه‌ی جداشدگی ذره‌های خاک در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی بسیار موثر است (دی بتس و همکاران ۲۰۰۶). حضور این گونه‌ها در بیش‌تر رویشگاه‌های منطقه‌های فرسایشی و نافرسوده نشان‌دهنده‌ی مقاومت زیاد آن‌ها در برابر خشکی منطقه است. فراوانی این گونه‌ها در بستر خندق‌ها، در برخی از دامنه‌های شمالی و شمال‌شرقی که رطوبت خزری بیش‌تری می‌گیرند، و در مسیر رودخانه‌ها و محل نشت آب‌های زیرزمینی زیاد است. شکل رویشی درمنه‌ی معطر، خارشتر، علف‌بره، زلف‌پیر ریش‌دار، و ملیکای بلند بوته‌یی یا گندمی و پهن‌برگ چندساله است که از بهترین محافظ های خاک در برابر فرسایش است (وان زیجل ۲۰۱۰).

در بین گونه‌های انتخاب‌شده علف‌بره و زلف‌پیر ریش‌دار علوفه‌های بسیار مناسب در تغذیه‌ی دام‌ها است. ارزش غذایی درمنه‌ی معطر، خارشتر و ملیکای بلند نیز برای تغذیه‌ی دام‌ها متوسط ارزیابی می‌شود. از آن‌جا که خارمریم، اسپند، خاکشیر لغزان، و شیرسگ مهاجم است، کاربرد آن‌ها برای احیای منطقه توصیه نمی‌شود. گندمیان و پهن‌برگ‌های علفی معمولاً در اشکوب‌های پایین گیاهان جا دارند، بنابراین می‌توانند در مهارکردن کارکرد فرسایشی از جمله شیاری و خندقی بسیار موثر باشند. این نتیجه‌ها با یافته‌های ریی (۲۰۰۳) نیز مطابقت دارد. با بررسی تاثیر ساختار ریشه‌ی گیاهان در توانایی کاهش‌دادن فرسایش بر اثر جریان متمرکز آب مشخص

شـــد که اندازه‌ی فرسایش مشاهده‌شده در خاک‌های مختلف با داده‌های ساختار، تراکم و قطر ریشه‌ی گیاهان پیوند دارد (دی بتس و همکاران ۲۰۰۷b، آلـــن و همکاران ۲۰۱۸). یافته‌های پژوهشـــگران در خاک‌های بادرفتی چین نیز نشان می‌دهد که ریشه‌ی گیاهان با شکل رویشی گندمی و پهن‌برگ علفی توان زیـــادی در مهارکردن فرســـایش در رأس خندق‌ها دارد (گو و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین گندمیان و پهن‌برگ‌های علفی علاوه بر مهارکردن فرســـایش در رأس و کف خندق‌ها، ممکن است در خارج از آن برای کاهش‌دادن شـــدت فرســـایش در کناره‌ی خندق‌ها، فرســـایش شیاری و شـــکل‌های مختلف فرسایش در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها به‌کار گرفته شود (مولینا و همکاران ۲۰۰۹).

گونه‌هایـــی از گیاهـــان بومـــی در بوم‌نظـــام مدیترانه‌یـــی (*Lygeum spartum*، *Stipa tenacissima* و *Salsola genistoides*) براســـاس پنـــج معیـــار تعریف‌شـــده بـــرای مهارکردن فرســـایش شـــیاری و خندقی معرفی شـــدند (دی بتـــس و همکاران ۲۰۰۹). دو گونـــه‌ی اول از گروه گندمیان و گونه‌ی ســـوم بوته‌یی اســـت که با نتیجه‌های به‌دست آمده در ایـــن پژوهش بر زلف‌پیـــر ریش‌دار و علف‌شـــور کاملاً مطابقت دارد. نتیجه‌های ارزیابی توان گیاهان در کاهش‌دادن فرسایش خاک در منطقه‌های نیمه‌خشـــک حوزه‌ی کنارتخته در استان فارس (فرهادی و همکاران ۲۰۱۸) نشان داد که کنار بوشهری (*Ziziphus spina-christi*) با اندازه‌های زیاد در شاخص‌های تراکم ساقه، ایجاد مانع در برابر موادمعلق، سفتی گیاه، کاهش تاثیر جریان تمرکزیافته‌ی آب، و چســـبندگی ریشه از بهترین گونه‌های بومی برای مهارکردن فرســـایش شـــیاری و خندقی است. رشـــد این گونه درختچه‌یی است و ریشه‌های ژرف دارد، که با نتیجه‌های به‌دســـت آمده در این پژوهش بر گونه‌ی گز تا حدود زیادی تشـــابه دارد. گونه‌های بومی با صفت‌های گیاهی مناسب در مهارکردن فرسایش (به‌خصوص شکل‌های شیاری و خندقی)، و با درنظر گرفتن عامل‌های زیاد (از جمله ســـازگاری به شرایط خشکی و مقاوم به کم‌آبی، سرشت خاک، جاگیری در کوتاه‌مدت، خوش‌خوراکی و سهولت در احیای طبیعی پوشش گیاهی یا کاشت) در جدول ۵ معرفی شدند.

جدول ۵- گونه‌های گیاهی مناسب برای فرسایش براساس ویژگی‌های اختصاصی آن‌ها.

زیستگاه به‌کار رفته	مقاومت در برابر فرسایش پاشمانی و بین شیاری	ویژگی‌های لازم برای مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی			
		مقاومت در برابر جریان تمرکز یافته‌ی فرسایشی	توانایی زیاد در تجمع موادمعلق و آلی	مقاومت در برابرخمیدگی	مناسب پایدارسازی دیواره‌ها و دامنه‌ها
دامنه‌های شیب‌دار		زلف‌پیر ریش‌دار (*Stipa arabica*) علف‌بره (*Festuca ovina*) ملیکای بلند (*Melica altissima*) گل‌ماهور سنبله‌ای (*Verbascum stachydifome*) علف‌شور (*Salsola dendroides*) گز (*Tamarix ramosissima*) خارشتر (*Alhagi camelorum*) کنگر هرز (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) گل‌گندم بوته‌یی (*Centauera virgate*)	درمنه‌معطر (*Artemisia fragrans*) خارشتر (*Alhagi camelorum*) گل‌ماهور سنبله‌ای (*Verbascum stachydifome*) علف‌بره (*Festuca ovina*) ملیکای بلند (*Melica altissima*)	گز (*Tamarix ramosissima*) علف‌شور (*Salsola dendroides*) گل‌ماهور سنبله‌ای (*Verbascum stachydifome*) کنگر هرز (*Cirsium arvense* (L.) Scop.)	گز (*Tamarix ramosissima*) علف‌شور (*Salsola dendroides*) زلف‌پیر ریش‌دار (*Stipa arabic*)
زمین‌های با فرسایش شیاری					
بستر و کناره‌های خندق‌ها	زلف‌پیر ریش‌دار (*Stipa arabica*)				
زمین‌های مرتعی و زراعی تخریب‌شده	ملیکای بلند (*Melica altissima*)				
بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها					

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر پایه‌ی توان متفاوت گونه‌ها در مهارکردن فرسایش، پیشنهاد می‌شـــود که برای مهارکردن فرسایش در ریختارهای مختلف ترکیب گونه‌ها به‌کار برده شـــود. علف‌شـــور، زلف‌پیر ریش‌دار، ملیکای بلند، و گز توان زیادی در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی دارند. زلف‌پیر ریش‌دار ممکن است در احیای پوشش گیاهی دامنه‌های با شـــیب‌های مختلف منطقه نیز به‌کار رود. گونه‌هـــای بومی علف‌شـــور و گز را می‌توان بـــرای مهارکردن فرسایش در بســـتر رودخانه‌ها، مســـیل‌ها و خندق‌ها کاشت. خارشتر، ملیکای بلند، علف‌بره، و گل‌ماهور سنبله‌یی نیز ممکن اســـت در دامنه‌های منطقه که جریان‌های آب تمرکز می‌یابد، و در محـــل خروجی خندق‌ها برای ته‌نشـــین‌کردن موادمعلقِ آورده از جریان آب‌راه مفید باشـــد. علف‌شـــور، گز، کنگر هرزَ، و گل‌ماهـــور ســـنبله‌یی را نیز می‌توان برای پایداری ســـاحل رودخانه‌ها و مسیل‌ها کاشت. زلف‌پیر ریش‌دار و علف‌شور برای احیای پوشش گیاهی دامنه‌های شیب‌دار منطقه مناسب است. ترکیب علف شـــور، علف‌بره و درمنه‌ی معطر ممکن اســـت در بازسازی‌کردن پوشش گیاهی منطقه، و در نتیجه کاهش‌دادن شدت فرســـایش در کناره‌ها و سراب خندق‌ها، و در دامنه‌های منطقه به‌کار برده شود. تاثیر کاشت ترکیبی گونه‌های انتخاب شـــده در مهارکردن فرســـایش ممکن اســـت بیش‌تر باشـــد. روش به‌کار رفته ممکن اســـت برای گیاهان با شـــکل رویشی مختلف در ســـایر منطقه‌ها نیز بـــه‌کار رود. برای ارزیابی‌کردن نتیجـــه‌ی اجرای کارهای زیســـتی ممکن اســـت اجرای طرح تحقیقی ترویجی به‌شکل کاشت ترکیبی گونه‌ها در منطقه‌های خندقی و نا خندقی منطقه بســـیار ســـودمند باشد. پیشنهاد می شـــود برای احیای پوشش گیاهی بومی، وکاهش فرسایش در سایر منطقه‌های کشور، پژوهش‌های مشابه برای شناسایی، دســـته‌بندی و اولویت‌بندی‌کردن گونه‌هـــای با توانایی زیاد در مهارکردن فرسایش اجرا شود.

فهرست منابع

Akramian M, Dastorani M, Farzam M, Addi E. 2019. Evaluation of the effects of Tamarix roots on Kashafroud River Banks soil cohesion and shear strength. Watershed Engineering and Management, 11(2): 328–335. (In Persian).

Allen PM, Arnold JG, Auguste L, Dunbar J. 2018. Application of a simple headcut advance model for gullies. Earth Surface Processes and Landforms, 43(1): 202–217.

Aslam B, Maqsoom A, Shahzaib, Kazmi ZA, Sodangi M, Anwar F, Bakri MH, 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.

Bennett S, Wells R. 2019. Gully erosion processes, disciplinary fragmentation, and technological innovation. Earth Surface Processes and Landforms, 44(1): 46–53.

Bochet E, Poesen J, Rubio JL. 2006. Runoff and soil loss under individual plants of a semiarid Mediterranean shrubland: influence of plant morphology and rainfall intensity. Earth Surface Processes and Landforms 31(5): 536–49.

Choubin B, Darabi H, Rahmati O, Sajedi-Hosseini F, Kløve B. 2018. River suspended sediment modelling using the CART model: A comparative study of machine learning techniques. Science of the Total Environment, 615: 272–281.

De Baets S, Poesen J, Gyssels G, Knapen A. 2006. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow. Geomorphology, 76(1–2): 54– 67.

De Baets S, Poesen J, Knapen A, Barbera GG, Navarro JA. 2007a. Root characteristics of representative Mediterranean plant species and their erosion-reducing potential during concentrated runoff. Plant Soil, 294(1): 169–183.

De Baets S, Poesen J, Knapen A, Galindo P. 2007b. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. Earth Surf. Process. Landforms, 32(9): 1323–1345.

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 Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion. Earth Surf. Process. Landforms, 34(10): 1374–1392.

De Baets S, Poesen J, Reubens B, Wemans K, De Baerdemaeker J, Muys B. 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. Plant Soil, 305(1/2): 207–226.

De Baets S, Quine TA, Poesen J. 2014. Root strategies for rill and gully erosion control. In: Morte A, Varma A, Editors. Root Engineering, Soil Biology 40, Springer-Verlag, Berlin, pp. 297–323.

Dong Y, Xiong D, Su Z, Li J, Yang D, Shi L, Liu G. 2014. The distribution of and factors influencing the vegetation in a gully in the Dry-hot Valley of southwest China. Catena, 116: 60–67.

Farhadi A, Ahmadi H, Soufi M, Motamedvaziri B, Moeini A. 2018. Assessment of the potential of semi-arid plants to reduce soil erosion in the Konartakhteh watershed, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 11(518): 1–13.

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. Tehean, 16 March 2015, First International Conference on New Findings in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. 8 p. (In Persian).

Gökbulak F. 2003. Comparision of growth performance of Lolium perenne L., Dactylis glomerata L. and Agropyron elongatum (Host.) P. Beauv. for erosion control in Turkey. Journal of Environmental Biology, 24(1): 45–53.

Gomide PHO, Silva MLN, de Castro GC, Soares CRFS, Oliveira AH, Curi N. 2014. Vegetation characterization in gully areas as basis for soil conservation. Ciênc. Agrotec. Lavras, 38(2): 149–159.

Guo M, Wang W, Shi Q, Chen T, Kang H, Li J. 2019. An experimental study on the effects of grass root density on gully headcut erosion in the gully region of China›s Loess Plateau. Land Degradation and Development, 30 (17): 2017–2025.

Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A Reviews. Progress in Physical Geography, 29(2): 189–217.

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 AR, Shafai-Bajestan M, Musavi SH. 2014. Investigation of root system of tamarix trees on slope of Saimerh Riverbanks. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 36(4): 98 –100. (In Persian).

Katuwal S, Vermang J, Cornelis WM, Donald Gabriels D, Moldrup P, de Jonge LW. 2013. Effect of root density on erosion and erodibility of a loamy soil under simulated rain. Soil Science, 178(1): 29–36.

Kertész Á. 2009. Environmental conditions of gully erosion in Hungary. Hungrian Geographical Bulletin, 58(2): 78–89.

Kou M, Jiao J, Yin Q, Wang N, Wang Z, Li Y, Yu W, Wei Y, Yan F, Cao B. 2016. Successional trajectory over 10 years of vegetation restoration of abandoned slope croplands in the hill-gully region of the Loess Plateau. Land Degradation and Development, 27(4): 919–932.

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 RM, Zhang X. 2019. Gully erosion control practices in northeast china: A Reviews Sustainability, 11(18): 5065: 1–16.

Molina A, Govers G, Cisneros F, Vanacker V. 2009. Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beds in a degraded mountain area. Earth Surf. Process. Landforms, 34(6): 755–767.

Mwango SB, Msanya BM, Mtakwa PW, Kimaro DN, Deckers J, Poesen J, Massawe V, Bethuel I. 2014. Root Properties of Plants Used for Soil Erosion Control in the Usambara Mountains, Tanzania. International Journal of Plant & Soil Science, 3(12): 1567–1580.

Nosko R, Maliariková M, Brziak A, Kubáň M. 2019. Formation of gully erosion in the Myjava Region. Slovak Journal of Civil Engineering, 27(3): 63–72.

Rey F. 2003. Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. Catena, 50(2): 549– 562.

Saksa M, Minár J. 2012. Assessing the natural hazard of gully erosion through a Geoecological Information System (GeIS): a case study from the Western Carpathians. Geografie, 117(2): 152–169.

Talaei R, Soufi M, Beyrami B, Saednia V, Ebrahimi M. 2014. Study and morpho-climatic classification of gullies in Ardabil province. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and education Center, Soil Conservation and Watershed Management Institute,

Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Final report of research, 158 p. (In Persian).

Van Zijl GM. 2010. An investigation of the soil properties controlling gully erosion in a subcatchment in Maphutseng, Lesotho. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree Master of Agriculture at Stellenbosch University, Stellenbosch University, 129 p.

Vanmaercke M, Poesen J, Mele BV, Demuzere M, Bruynseels A, Golosov V, Bezerra JFR, Bolysov S, Dvinskih A, Frankl A, Fuseina Y, Guerra AJT, Haregeweyn N, Ionita I, Imwangana FM, Moeyersons J, Moshe I, Samani AN, Niacsu L, Nyssen J, Otsuki Y, Radoane M, Rysin I, Ryzhov YV, Yermolaev O. 2016. How fast do gully headcuts retreat? Earth-Science Reviews, 154: 336–355.

Zarekia S, Abolghasemi M. 2020. Salsola, capabilities and potentials (Emphasis on rehabilitating destroyed rangelands and providing forage). Journal of Iran nature, 3(5): 79–86.

Zhang S, Fan W, Li Y, Yi Y. 2017. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in watershed. Scince of the Total Environment, 574: 34–45.

Zhang X, Yu GQ, Li ZB, Li P. 2014. Experimental study on slope runoff, erosion and sediment under different vegetation types. Water Resources Management, 28(9): 2415–2433.

Watershed Management Research

VOL. 34, No. 2, Ser. No: 131, Summer 2021, pp. 134 -150
DOI: 10.22092/wmej.2021.351534.1358

Research Paper

Evaluation of Native Plants Potential for Rill and Gully Erosion Control in the North of the Province of Ardabil

Reza Talaei
(Corresponding Author)* Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
Samad Shadfar
Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
Farzaneh Azimi Motem
M.Sc., Forests and Ranglands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
Younes Rostamikia
Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
Majid Soufi
Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Corresponding Author Email: r.talaei@areeo.ac.ir
Received: 25 August 2020 Accepted: 20 December 2020

Abstract

A quantitative method is presented to evaluate the ability of plants for rill and gully erosion control in the Moghan region in the province of Ardabil. This research was carried out during a five-year period (2016-2020). Five indicators, namely, stem density (SD), topsoil erosion-reducing potential of plant roots during the concentrated flow erosion (RSD), sediment obstruction potential (SOP), index of plant stiffness (MEI), and root cohesion (Cr) were calculated for 20 native plants of the region (SD=1.411×10-4 – 0.28, RSD=6.68×10-24 – 10.1076, SOP=8.275×10-5 – 0.696, MEI=1.69×10-6 – 27.134 N, Cr=5.432×10-4 – 34.626 Pa). Tamarix ramosissima Ledeb., Salsola dendroides Pall., Artemisia fragrans Willd., Stipa arabica Trin. & Rupr. var. arabica, Alhagi camelorum Fisch., Verbascum stachydifome Boiss. & Buhse., Festuca ovina L., and Melica altissima L. are very appropriate species for controlling rill and gully erosion. Festuca ovina L., Stipa arabica Trin. & Rupr. var. arabica and Melica altissima L. have a distinct potential to obstruct sediment inflow into channels at the gully outlets. As each species has a particular ability in one or more of the indices, combined planting of selected plant species may be more effective in erosion control. The results of this study may be used in adjacent regions and under similar cold-semiarid and cold-arid environments.

Keywords: **Keywords: Ardabil Province, erosion, gully, indicators, plant species, vegetation**