

## مقاله پژوهشی

# روشی برای انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب در مهار فرسایش شیاری و آب‌بندی در جنوب استان اردبیل

رضا طلایی<sup>۱\*</sup>، یونس رستمی کیا<sup>۲</sup>، فرزانه عظیمی مطعم<sup>۳</sup>، علی جعفری اردکانی<sup>۴</sup>، حمید رضا پیروان<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶

- ۱- 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
  - ۲- استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
  - ۳- کارشناس ارشد، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
  - ۴- مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
  - ۵- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- \* مسئول مکاتبه، پست الکترونیکی: r.talaei@areeo.ac.ir

## چکیده

در این تحقیق روشی جهت ارزیابی توانایی گیاهان در مهار فرسایش شیاری و آب‌بندی در جنوب استان اردبیل معرفی شده است. توانایی گیاهان برای مهار جریان متمرکز فرسایشی براساس یک تحلیل چند معیاری تعیین شد. پنج شاخص به نام‌های تراکم ساقه‌ای (SD)، توانایی ریشه‌ی گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD)، توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP)، شاخص سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) برای ۳۶ گیاه بومی محاسبه گردید ( $Cr=5/432 \times 10^{-4} - 34/62$ ،  $SD=1/216 \times 10^{-4} - 10/1076$ ،  $RSD=3/6 \times 10^{-42} - 10/988$ ،  $SOP=0/00082 - 0/988$ ،  $MEI=1/69 \times 10^{-6} - 53/471$ ،  $Cr=0/62 - 34/62$ ). مقادیر تراکم ساقه‌ای (SD) بین ۰/۲۶ تا ۲۸ درصد تغییر می‌کند. دو گونه‌ی کلاه میرحسن و علف بره بیشترین تراکم ساقه‌ای را دارند. این گونه‌های گیاهی کوچک در فصل بهار و تابستان پوشش خوبی روی زمین ایجاد می‌کنند. مقادیر توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) بین ۰/۰۱۲۸ تا ۰/۹۸۸ متر بر متر است. گیاهان دغدغک، ملیکای بلند، علف بره، گل ماهور و بادام کوهی دارای حداکثر توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب هستند. مقادیر شاخص سفتی گیاه (MEI) نشان می‌دهد گونه‌های دغدغک، بادام کوهی، گز، علف شور و سماق مقاومت خمشی زیادی در مقابل نیروی برشی دارند (۵/۱۹ - ۳۴/۶۲۶ نیوتن). گیاهانی مانند بادام کوهی، شیرین بیان و زلف پیردائی با مقادیر  $6/68 \times 10^{-24}$  تا  $3/6 \times 10^{-42}$  برای شاخص RSD توانایی بالایی در کاهش فرسایش در مقابل جریان متمرکز فرسایشی دارند. کاشت ترکیبی گونه‌های گیاهی مختلف برای مهار فرسایش می‌تواند بسیار موثر باشد. نتایج در نواحی همجوار منطقه و در اقلیم‌های مشابه نیمه‌خشک و خشک سرد نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اردبیل، توانایی، شاخص، فرسایش، گونه‌های گیاهی

## A Method for Selecting Suitable Plant Species to Control of Rill and Gully Erosion in South of Ardabil Province

Reza Talaei<sup>1\*</sup>, Younes Rostamikia<sup>2</sup>, Farzaneh Azimi Motem<sup>3</sup>, Ali Jafari Ardakani<sup>4</sup>, Hamidreza Peyrowan<sup>5</sup>

Received: August 27, 2020 Accepted: June 27, 2021:

1-Assist. Prof., 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

2-Assist. Prof., Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

3-MSc, Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

4-Scientific staff, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5-Associ. Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

\* Corresponding Author Email: r.talaei@areeo.ac.ir

### Abstract

In this research, a methodology is presented to evaluate the ability of plants for rill and gully erosion control in south of Ardabil province. The plants potential for controlling of concentrated flow erosion was determined based on a multi-criteria analysis. At first, five indicators, namely, stem density (SD), top soil erosion-reducing potential of plant roots during concentrated flow erosion (RSD), sediment obstruction potential (SOP), index of plant stiffness (MEI) and root cohesion (Cr) were calculated for 36 native plants ( $SD=1.216 \times 10^{-4}-0.28$ ,  $RSD=3.6 \times 10^{-42}-10.1076$ ,  $SOP=0.00082-0.988$ ,  $MEI=1.69 \times 10^{-6}-53.471$  and  $Cr=5.432 \times 10^{-4}-34.62$ ). SD ranges from 0.26 to 28%. The two plants *Acantholimon talagonicum* L. and *Festuca ovina* L. have the highest stem density. These are small plant species with a good soil cover in spring and summer. SOP ranges between 0.00128 and 0.988  $m\ m^{-1}$ . The plants *Colutea persica* Boiss., *Melica altissima* L., *Festuca ovina* L., *Verbascum thapsus* L. and *Amygdalus scoparia* Spach have a high potential to obstruct sediment and organic residues. The results of the MEI calculations show that the shrubs and bushes *Colutea persica* Boiss., *Amygdalus scoparia* Spach, *Tamarix ramosissima* Ledeb., *Salsola kali* L. and *Rhus coriaria* L. are the most resistant to bending through flow shear forces (5.19-34.626N). Some plants such as *Amygdalus scoparia* Spach, *Glycyrrhiza aspera* Pall. or *Stipa pennata* L. have very low RSD value that ranges from  $6.68 \times 10^{-24}$  to  $3.6 \times 10^{-42}$ , and a high erosion-reducing potential through their roots during concentrated flow. Combined planting of selected plant species can be more effective in erosion control. The results can be used in adjacent regions and similar cold-semiarid and cold-arid environments.

**Keywords:** Ardabil, Erosion, Indicator, Plant species, Potential

## مقدمه

مناطق جنوبی استان اردبیل دارای سنگ‌های رسوبی رس‌دار بوده که در ۱۹۹۶۰ هکتار یعنی بیش از ۳۲/۵ درصد از مساحت ۶۱۲۷۷ هکتاری آن فرسایش شیاری و آب‌بندی گسترش دارد (طلایی و همکاران ۲۰۱۴). آب‌بندی‌ها یکی از اشکال فرسایشی و منبع مهم در تولید رسوب هستند (حاسن و بانتیدر ۲۰۲۰) و حتی می‌توانند بیش از ۹۰ درصد از بار رسوبی یک حوضه را تامین نمایند (عرب عامری و پورقاسمی ۲۰۱۹).

فرسایش خاک را می‌توان با کاهش قدرت فرساینده‌گی آب جاری از طریق ساخت سازه‌های مکانیکی و احیای پوشش گیاهی مهار کرد (اوگونلا و ماکانجولا ۲۰۰۰). احیای پوشش گیاهی یکی از روش‌های مؤثر و کم هزینه در مهار فرسایش می‌باشد (لیو و همکاران ۲۰۱۹)، و به این دلیل موضوع اصلی مطالعه برای بسیاری از محققین در نقاط مختلف دنیا است (دونگ و همکاران ۲۰۱۴).

نتایج ارزیابی توانایی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش در چهل چشمه دشت ارژن در استان فارس نشان داد از ۱۳ گونه‌ی گیاهی منطقه، گونه‌ی گیاهی *Scirpoides holoschoenus* به علت داشتن تراکم ساقه‌ای و ریشه‌ای بالا برای مهار جریان‌های متمرکز بسیار مناسب است (قنواتی و همکاران ۲۰۱۵). نتیجه‌ی پژوهش زارع‌کیا و ابوالقاسمی (۲۰۲۰) نشان داد جنس‌های مختلف گونه‌ی *salsola* با ریشه دوانی گسترده و تاج پوششی وسیع نقش مؤثری در حفاظت خاک دارند. نتایج ارزیابی توانایی گیاهان در کاهش فرسایش خاک در مناطق نیمه‌خشک حوضه‌ی کنار تخته در استان فارس نشان داد گونه‌ی کنار بوشهری (*Ziziphus spina-christi*) توانایی بالایی در مهار فرسایش شیاری و آب‌بندی دارد (فرهادی و همکاران ۲۰۱۸). نتایج ارزیابی

توانایی ۲۵ گونه‌ی گیاهی در حوضه‌ی کاکاو<sup>۱</sup> در اسپانیا با استفاده از شاخص‌های پنجگانه تراکم ساقه‌ای<sup>۲</sup> (*SD*)، تراکم ریشه‌ای گیاه<sup>۳</sup> (*RSD*)، قدرت ایجاد مانع در برابر موادمعلق<sup>۴</sup> (*SOP*)، سفتی گیاه<sup>۵</sup> (*MEI*) و چسبندگی ریشه<sup>۶</sup> (*Cr*) نشان می‌دهد گونه‌های *Stipa tenacissima*، *Lygeum spartum* و *Salsola genistoides* توانایی زیادی در مهار فرسایش شیاری و آب‌بندی دارند (دی بتس و همکاران ۲۰۰۹). براساس نتایج پژوهش گو و همکاران (۲۰۱۹) اندازه‌ی تلفات خاک، طول عقب نشینی رأس و مساحت آب‌بند و حجم خاک از دست رفته در قطعه‌های با پوشش گیاه *Agropyron cristatum* (چمن گندمی تاج‌خروسی) و با تراکم ریشه‌ای متفاوت نسبت به مناطق بدون پوشش گیاهی کمتر می‌باشد. در این پژوهش برای اولین بار نقش توأم اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان مهم و بومی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بطور کلی این پژوهش برای دستیابی به اهداف زیر انجام گرفت: ۱) شناسایی و بررسی گونه‌های گیاهی مهم در منطقه، ۲) ارزیابی کیفی و کمی ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها، ۳) تعیین توانایی گونه‌ها در کاهش و مهارکردن فرسایش شیاری و آب‌بندی و ۴) معرفی گونه‌های مناسب برای احیای پوشش در شرایط محیطی منطقه و اراضی همجوار و مشابه.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه‌های قزل اوزن-آرپاچای با وسعتی برابر ۳۵۳۷ کیلومترمربع، در جنوب استان اردبیل در بین ۰۱' ۴۸° تا ۰۵' ۴۸° طول شرقی و ۰۵' ۳۷° تا ۰۷' ۳۷° عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱).

4- Sediment obstruction potential

5- Index of stiffness

6- Root reinforcement effect

1- Cárcavo

2- Stem density

3- Relative soil detachment

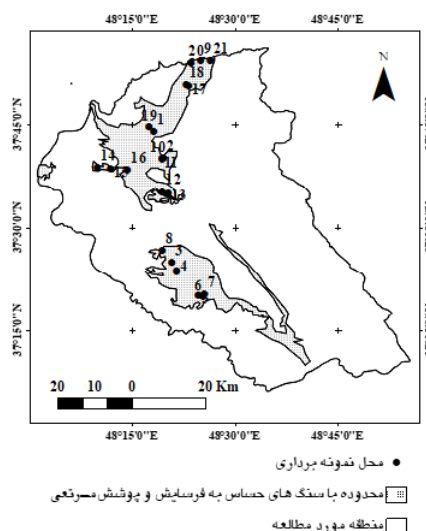
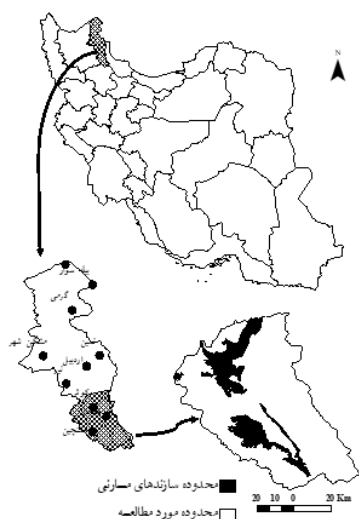
## نمونه برداری از منطقه

جهت نمونه برداری از گیاه‌های اصلی در محدوده-های مارنی منطقه، ۲۱ نقطه انتخاب شد ( شکل ۱).

## اندازه‌گیری ویژگی‌های گیاهی

ویژگی‌های پوشش گیاهی به روش خط نمونه به طول ۵۰ متر در امتداد طول دامنه اندازه‌گیری شد. برای

اندازه‌گیری نوع و فراوانی گیاهان در روی هر یک از خط-ها ۱۰ قاب یک مترمربعی قرار داده شد. نمونه‌های گیاهی مهم منطقه که فراوانی بیش از ۵ درصد داشتند جمع‌آوری و با استفاده از منابع معتبر فلور ایران (اسدی و همکاران، ۱۹۸۸-۲۰۰۹، دیویس و همکاران ۱۹۸۸-۱۹۶۵ و -ریشینگر ۲۰۱۰-۱۹۶۳) شناسائی شدند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری در جنوب استان اردبیل.

شده (۲۵ گونه بومی) شامل مرزه کوهی (*Satureja intermedia* C. A. Mey.), درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، شیرین بیان (*Glycyrrhiza aspera* (Pall.) Zulf پیردائمی (*Stipa pennata* L.)، خارشتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desf. آتشین (*Aethionema grandiflorum* Bioss. & Hohen. تلخه (*Acroptilon repens* DC. (L.)، علف جارو (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.)، ترشک (*Rumex acetosa* L.)، هویج کوهی (*Astrodaucus orientalis* (L.) Drude گل میمونی (*Scrophularia deserti* Del.)، علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، شاه افسر

در منطقه‌ی مورد بررسی از ۱۹ خانواده، ۳۶ گونه گیاهی جمع‌آوری و شناسایی شد. فرم رویشی گونه‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، کنگر واژگون کرک‌دار (*Cirsium osseticum* L.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia* Fisch. & C. A. Mey.)، خاک شیر (*Sisymbrium altissimum* L.) و علف مار (*Caparis spinosa* L.) بوته‌ای و گونه‌های دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach)، گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) و سماق (*Rhus coriaria* L.) دارای فرم درختچه‌ای بودند. بقیه گونه‌های جمع‌آوری

در شکل ۲ سیمای کلی فرسایش شیاری و آبکندی، نمونه‌ی قاب یک متر مربعی، اندازه گیری‌ها و یک گونه‌ی گیاهی نشان داده شده است. در مرحله‌ی عملیات صحرایی متغیرهایی شامل تعداد و قطر ساقه‌ها در یقه‌ی هر گونه، مساحت کل اشغال شده به وسیله تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین، سطح مقطع کل ریشه‌ها، طول یا قطر حداکثر اندام هوایی گیاه در روی خط عمود بر جریان آب در تصویر قائم اندام هوایی گیاه بر روی زمین اندازه-گیری شد. حفاری برای بررسی و برداشت نمونه از ریشه در محل گیاهانی انجام شد که دارای شرایط زیستگاهی مشابه بوده و در اندازه متوسط بودند.



(ب)



(د)



(و)



(الف)



(ج)



(ه)

شکل ۲- الف) نمای کلی از دامنه‌ای تحت فرسایش شیاری در منطقه، ب) تشکیل و توسعه فرسایش آبکندی، ج) پلات‌های ۱ مترمربعی برای تعیین نوع و فراوانی گونه‌های گیاهی، د) برداشت و اندازه گیری‌های صحرایی، ه) شستشو و آماده سازی گیاهان برای اندازه گیری و و) نمایی از گیاه کلاه میرحسن.

قطرهای مختلف ساقه‌ها، جرم ریشه (کیلوگرم) و حجم خاک حاوی ریشه به متر مکعب تعیین شد. ریشه‌ها در دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه در مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. توانایی ۳۶ گونه‌ی گیاهی در مهار فرسایش شیاری و آبکندی با استفاده از متغیرهای اندازه گیری شده در صحرا

*Tanacetum balsamitha* L. subsp. *balsamithades* )

(Schultz-Bip) Grierson

(، علف بره (*Festuca Ovina* L.)، علف شور یا شور خاردار (*Salsola kali* L.)، زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.)، گون علفی (*Astragalus basilicus* Maassoumi & Podlech)، گل گندم (*Centaurea depressa* L.)، شیرسگ (*Euphorbia boissieriana* (Woron.) Prokh.)، جارو علفی هرز (*Bromus danthoniae* Trin.)، خاکشیر (*Sisymbrium altissimum* L.)، شاه‌تره (*Frankenia hirsute* L.)، کاهوی وحشی (*Lactuca serriola* L.)، اسپند (*Peganum harmala* L.)، خار مریم (*Silybum marianum* (L.)) و ملیکای بلند (*Melica altissima* L.) دارای فرم رویشی علفی هستند.

در آزمایشگاه نمونه‌های گیاهی روی تور سیمی قرار داده شده و به دقت با آب معمولی شسته شدند. در آزمایشگاه نیز مقادیر متغیرهای نیروی حداکثری برای شکست ریشه، میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش، حداکثر نیروی وارده جهت خمیدگی ساقه برای

شدت نیست. تأثیر ریشه بر مقاومت خاک سطحی در برابر جریان متمرکز متمرکز فرسایشی با استفاده از متغیر تراکم ریشه<sup>۱</sup> (RD) به کیلوگرم بر مترمکعب ماده خشک) و قطر ریشه (D به متر) و با محاسبه شاخص جدا شدگی نسبی خاک (RSD) به عنوان یک متغیر بیان می‌شود. برای ارزیابی تأثیر گیاهان منطقه بر پایداری دامنه‌ها و یا پایداری دیوارهای آبکندها مقدار چسبندگی ریشه ( $C_r$ ) به کیلوپاسکال)، که نشان دهنده‌ی اندازه‌ی قدرت ریشه در پایداری است، برآورد شد (گری و سوتیر ۱۹۹۶). برای تعیین توانایی گیاهان در پایداری دیواره‌ها و دامنه‌ها، نسبت مساحت ریشه<sup>۲</sup> (RAR بدون بعد) و مقاومت کششی ریشه<sup>۲</sup> ( $T_r$  به مگاپاسکال) نیز محاسبه شد. در این حالت تأثیر ریشه بر چسبندگی خاک تا ژرفای ۰/۳ تا ۰/۴ متری است، و این نیز همان ژرفایی است که دیواره‌ی آبکند ناپایدار می‌شود.

#### شاخص‌های مربوط به اندام‌های هوایی گیاهان

شاخص تراکم ساقه‌ای (SD) نشان دهنده مقاومت گیاه در مقابل تنش برشی رواناب است. تراکم ساقه‌ای بصورت مساحت اشغال شده توسط ساقه در واحد سطح، برای اندازه‌گیری مقاومت گیاه در مقابل نیروی فرسایشی آب محاسبه شده است. شاخص سفتی یا سختی (MEI) به نیوتن) به عنوان درجه‌ی مقاومت گیاه در برابر خمیدگی اندازه‌گیری شد. معیار توانایی ایجاد مانع در برابر رسوب و ذرات آلی (SOP متر بر متر) نیز برای ارزیابی قابلیت گیاه در به تله انداختن رسوبات و ذرات آلی محاسبه شد (دی بتس و همکاران ۲۰۰۹).

و آزمایشگاه و با کاربرد روش پیشنهادی دی بتس و همکاران (۲۰۰۹)، دی بتس و همکاران (۲۰۱۴) و فرهادی و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی شد.

#### تعیین نقش گیاهان در مهار فرسایش

چون هر دو فرسایش شیاری و آبکندی با جریان متمرکز فرسایشی شروع می‌شوند، بنابراین معیارهای یکسانی برای ارزیابی مقاومت گیاه در فرسایش خاک به وسیله رواناب متمرکز در نظر گرفته شده است. شاخص-های تراکم ساقه‌ای (SD)، توانایی ریشه‌ی گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان متمرکز فرسایشی (RSD) برای ارزیابی توانایی گیاه در مهار فرسایش شیاری و آبکندی مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین از شاخص‌های توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات و ذرات مواد آلی (SOP) و شاخص سفتی گیاه (MEI) در ارزیابی توانایی گیاه برای کاهش فرسایش شیاری و از شاخص چسبندگی ریشه (Cr) در ارزیابی توانایی برای مهار فرسایش آبکندی استفاده شده است. روابط مورد استفاده برای تحلیل چند معیاری در جدول ۱ خلاصه شده است.

#### روش ارزیابی توانایی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش

##### شاخص‌های مربوط به اندام‌های زیرزمینی گیاهان

توانایی گیاه در ایجاد پایداری در دیواره و مقاومت در مقابل جریان متمرکز فرسایشی معیارهای نشان دهنده تأثیر ریشه در مهار فرسایش هستند. نتایج مطالعات دی بتس و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد توانایی گیاهان در کاهش شدت فرسایش در مقابل جریان رواناب‌های متمرکز با افزایش تراکم ریشه بصورت توانی افزایش می‌یابد، اما رابطه توانایی گیاه در مهار فرسایش با قطر گیاه به این

3- Root tensile strength

1- Root density  
2- Root area ratio

جدول ۱- معیارها و شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاهان در مهار فرسایش شیبی و آب‌کندی براساس خصوصیات اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان (دی بتس و همکاران ۲۰۰۹، موانگو و همکاران ۲۰۱۴، فرهادی و همکاران ۲۰۱۸).

معیارها	شاخص‌ها (نشانه‌ها)	روابط محاسباتی براساس ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان
ایجاد پایداری در دیواره و دامنه	توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها ( $C_r$ )	$C_r = 1.2 \frac{\sum_{i=1}^n T_{ri} \times A_{rti}}{A_r}$
مقاومت در برابر خمیدگی بر اثر جریان آب	درجه‌ی مقاومت گیاه در برابر خمیدگی به‌وسیله‌ی جریان آب به‌صورت سفتی یا سختی گیاه (MEI)	$MEI_{grass} = ME_{mod1} \quad MEI_{shrub} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i E_{mod}}{A_r}$
مقاومت در برابر جریان فرسایشی تمرکز یافته	تراکم ساقه‌ای، اندازه‌ی مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی (SD)	$SD_{grass} = \frac{\frac{A_b}{A_s} (n_s \times \pi (\frac{\bar{d}_s}{2}))^2}{A_r} \quad SD_{shrub} = \frac{\sum_{i=1}^n \pi (d_{si}/2)^2}{A_r}$
توانایی به تله انداختن موادمعلق و آلی	توانایی کاهش فرسایش در برابر جریان تمرکز یافته به‌وسیله ریشه‌ی گیاه (RSD)	$RSD = e^{-1.45 RD} \times e^{-0.47 RD} \quad \begin{matrix} 1 < D < 5 \\ 5 < D < 15 \end{matrix}$
	توانایی ایجاد مانع در برابر جریان موادمعلق (SOP)	$SOP_{grass} = \frac{L_b \times n_1 \text{ cm} \times \bar{d}_s}{L_{tot}} \quad SOP_{shrub} = \frac{\sum d_{si}}{L_{tot}}$

$A_{rt}$ : سطح مقطع کل ریشه‌های اندازه‌گیری شده در خاک (مترمربع);  $A_r$ : مساحت کل اشغال شده به‌وسیله تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین (مترمربع)،  $T_{ri}$  و  $A_{rti}$  مقادیر  $T_r$  و  $A_{rt}$  برای هر طبقه از رده‌های قطر ریشه هستند (طبقه  $i$ ) و  $n$  تعداد طبقات قطر ریشه می‌باشد.  $T_r$ : تنش کششی کل رشته‌های ریشه در واحد سطح خاک (به مگا پاسکال) بوده و براساس رابطه زیر محاسبه شده است:  $T_r = \frac{F_{max}}{\pi(\frac{D}{4})^2}$  که در آن  $F_{max}$ : نیروی حداکثر برای شکست ریشه (به نیوتن) و  $D$ : میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش (به میلی‌متر).

$E_{mod} = \frac{L^3 (dF/dY)}{12\pi^4}$  که در آن:  $E_{mod}$  مدول الاستیسته بوده و براساس آزمون تعیین اندازه‌ی خمیدگی ساقه با کاربرد روش سه نقطه‌ای تعیین شد (ه پاسکال).  $L$ : فاصله بین دو نقطه‌ی ثابت در دستگاه اندازه‌گیری خمیدگی ساقه (متر)،  $F$ : نیروی وارده به‌نمونه (نیوتن)،  $Y$ : میزان جابه‌جایی در جهت عمودی (متر) و  $X$ : شعاع ساقه (متر).

$I = \frac{\pi d_s^4}{64}$  که در آن:  $I$ : ممان دوم اینرسی برای ساقه‌های با مقطع دایره‌ای ( $m^4$ ) و  $d_s$ : قطر ساقه در پایه‌ی گیاه (متر). همچنین: تعداد ساقه‌ها در سطح تصویر قائم از اندام هوایی گیاهان علوفه‌ای در واحد سطح است.

$d_{si}$ : قطر ساقه در پایه‌ی گیاه (متر)،  $n_s$ : تعداد ساقه‌ها در یک قطعه‌ی افقی به مساحت  $A_s$ ،  $A_s$ : سطح مقطع  $h$  سانتی مترمربعی از ساقه‌های پایه‌ای گیاه (به مترمربع)  $\bar{d}_s$ : قطر متوسط ساقه در پایه گیاه (به متر) و  $A_b$ : مساحت اشغال شده به‌وسیله‌ی ساقه‌های یک گیاه از نوع گندمیان (به مترمربع)

$D$ : میانگین قطر ریشه،  $RD$ : تراکم ریشه کیلوگرم به مترمکعب است که برحسب رابطه  $RD = \frac{M_D}{V}$  محاسبه شده است.  $M_D$ : جرم ریشه به کیلوگرم که در آن در دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه در مدت ۲۴ ساعت خشک شده است و  $V$ : حجم خاک حاوی ریشه به متر مکعب. برای گیاهانی با قطر ریشه کمتر از ۱ میلی متر ( $D < 1 \text{ mm}$ ) از رابطه  $RSD = e^{-2.58 RD}$  استفاده شد.

$L_{tot}$ : طول یا قطر حداکثر اندام هوایی گیاه در روی خط عمود بر جریان آب (متر) که بر روی تصویر قائم اندام هوایی گیاه بر روی زمین اندازه‌گیری شده است.  $n_1$  cm: تعداد ساقه‌ها در واحد طول ۱ سانتی‌متر،  $L_b$ : طول اشغالی به وسیله ساقه‌ها در روی خط افقی عمود بر جهت جریان در پایه‌ی گیاه (متر) برای تعیین اندازه‌ی خمیدگی ساقه در اثر نیروی جریان آب و مقاومت کششی ریشه‌ها از دستگاه‌های که در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل طراحی و ساخته شد استفاده شد.

جدول ۲- محدوده تغییرات مقادیر شاخص‌ها و امتیازات مربوطه.

درجه	امتیاز	$C_r$	MEI	RSD	SOP	SD
بسیار پائین	۰	۰/۰ - ۰/۱	۰/۰ - ۰/۲۵	بزرگتر از ۰/۵۰	۰/۰ - ۰/۰۵	۰/۰ - ۰/۰۱
پائین	۱	۰/۱ - ۱	۰/۲۵ - ۱	۰/۵۰ - ۰/۲۵	۰/۰۵ - ۰/۰۷۵	۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۲
متوسط	۲	۱ - ۵	۱ - ۱۰	۰/۲۵ - ۰/۱۰	۰/۰۷۵ - ۰/۱۰	۰/۰۰۲ - ۰/۰۰۳
بالا	۳	۵ - ۱۰	۱۰ - ۲۵	۰/۱۰ - ۰/۰۱	۰/۱۰ - ۰/۱۵	۰/۰۰۳ - ۰/۰۰۷
بسیار بالا	۴	بزرگتر از ۱۰	بزرگتر از ۲۵	۰/۰ - ۰/۰۱	بزرگتر از ۰/۱۵	بزرگتر از ۰/۰۰۷



## روش تحلیل آماری داده‌ها

مقادیر برآوردی برای هر شاخص در پنج رده طبقه بندی شد (صفر تا چهار درجه). در جدول (۲) محدوده‌ی تغییرات مقادیر شاخص‌های محاسباتی و امتیازهای در نظر گرفته شده ارایه شده است. به منظور مقایسه‌ی توانایی گیاهان منطقه، امتیازهای هر شاخص برای هر گونه‌ی گیاهی در یک نمودار ستاره‌ای با پنج محور مشخص شد و

## نتایج و بحث

در بسیاری از مطالعات به نقش اندام هوایی در مهار کردن فرسایش توجه بیشتری شده است، در حالیکه اندام زیرزمینی گیاه نیز توانایی زیادی در مهار فرسایش دارد (کاتوال و همکاران ۲۰۱۳). نتایج پژوهش‌های اخیر نیز نشان می‌دهد که اندام‌های هوایی در کاهش فرسایش پاشمانی و بین شیبی مؤثر بوده و فرسایش‌های شیبی و آبکندی به وسیله ریشه‌ی گیاهان مهار می‌شوند (لیو و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین در این پژوهش نیز نقش توأم هر دو اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان در کاهش شدت و مهار فرسایش مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## توانایی گیاهان در مهار فرسایش

نتایج به دست آمده نشان داد مقادیر شاخص تراکم ساقه‌ای (SD) بین ۰/۰۱۲ درصد برای گیاه شاه افسر و ۲۸ درصد برای علف بره متغیر است. گونه‌های زلف‌پیر دائمی، کلاه میرحسن، بادام کوهی، علف بره، سماق و ملیکای بلند به ترتیب مقادیر شاخص تراکم ساقه‌ای (SD) برابر ۰/۰۰۷۸، ۰/۱۸۳، ۰/۰۶۸۴، ۲۸۰، ۰/۰۲۰۶ و ۰/۰۱۲۷ متربرمترمربع دارند که به همه آن‌ها امتیاز ۴ تعلق می‌گیرد و نشان دهنده مقاومت بسیار بالای این گیاهان در مقابل نیروی برشی آب است. حداکثر مقدار توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب (SOP) را گونه‌ی دغدغک با ۹۸/۸ درصد و حداقل آن را گونه‌ی علف جارو با ۰/۰۰۸۲ درصد بخود اختصاص داده‌اند. به غیر از دو گونه‌ی شیرسگ و شاه‌تره

ترسیم گردید. گونه‌های گیاهی طبق امتیازهای اختصاصی پنج شاخص و با استفاده از روش خوشه‌بندی، گروه‌بندی شدند. در این روش برای طبقه‌بندی گروه‌ها از الگوریتم سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج حاصل از انباشتگی به صورت شماتیک و با کاربرد روش نمودار دو بعدی (نمودار درختی)، نشان داده شدند.

تمام گونه‌های بومی منطقه توانایی افزایش مقاومت به خاک سطحی در مقابل جریان رواناب فرسایشی را دارند. از گونه‌های گیاهی منطقه، مرزه کوهی، شیرین بیان، زلف‌پیر دائمی، خارشتر، آتشین، کلاه میرحسن، ترشک، کنگرواژگون کرک‌دار، گل ماهور، علف چایی، بادام کوهی، علف بره، گز، شیرخشت و سماق دارای امتیاز بسیار بالا (۴) برای کاهش فرسایش در مقابل جریان متمرکز آب توسط ریشه‌ی گیاه هستند. بیشترین مقدار شاخص استحکام به ترتیب به گونه‌های دغدغک، سماق و گز با مقادیر شاخص سفتی گیاه (MEI) برابر با ۵۳/۴۷۱، ۳۲/۱۶ و ۲۷/۱۳۴ نیوتن تعلق دارد که نشان دهنده مقاومت بسیار بالای آن‌ها در مقابل جریان رواناب است. مقادیر شاخص مربوط به توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها (Cr) در پنج گونه‌ی گز، علف شور، سماق، دغدغک و بادام کوهی به ترتیب برابر ۳۴/۶۲۶، ۱۸، ۱۹/۶۱، ۶/۹۴ و ۵/۱۹ کیلوپاسکال است.

## تحلیل نمودارهای ستاره‌ای

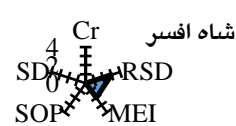
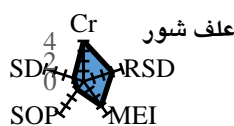
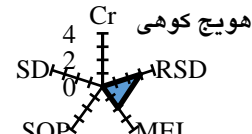
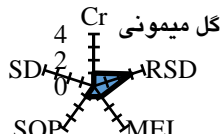
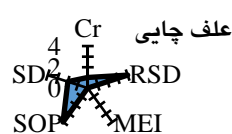
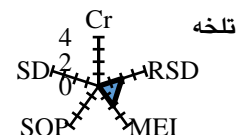
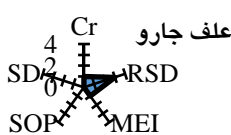
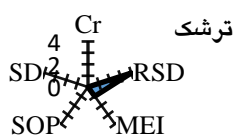
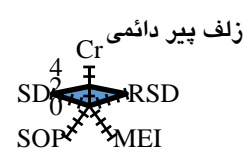
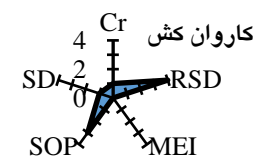
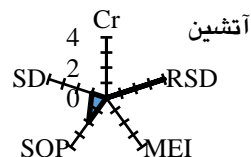
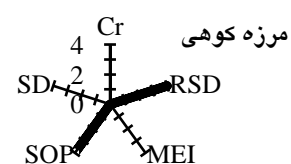
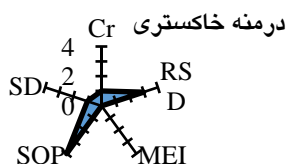
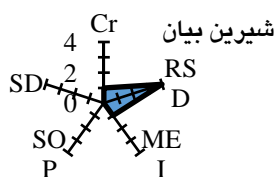
مقادیر شاخص‌های پنجگانه برای گونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای ستاره‌ای ارائه شده است (شکل ۳). گونه‌های درختچه‌ای دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق با داشتن بزرگترین سطح داخل منحنی نسبت به سایر گونه‌ها برای مهار فرسایش شیبی و آبکندی و حتی حرکات دامنه-ای کم عمق بسیار مناسب هستند. گونه‌های کلاه میرحسن، گل ماهور، شیرخشت با فرم رویشی بوته‌ای بعلت تراکم

می‌تواند بر روی سطح خاک خصوصاً در شروع فصل رشد و بارندگی‌ها پوشش خوبی ایجاد نماید. همچنین به دلیل تراکم بالای ریشه می‌تواند مقاومت خاک را در مقابل جریان تمرکز یافته آب بالا برده و از تشدید فرسایش جلوگیری نماید. گونه‌های خار مریم، زردینه خاردار، گل گندم و کنگر و اژگون کرک‌دار نیز می‌توانند تا حدودی با کاستن از قدرت جریان متمرکز آب شدت فرسایش را کاهش دهند.

#### تحلیل آماری

نتایج تحلیل خوشه‌ای در نمودار درختی شکل ۴ نشان داده شده است. با مشاهده نمودار درختی و با در نظر گرفتن فاصله تشابه ۱/۵، گیاهان منطقه در ۱۰ خوشه قرار داده شدند.

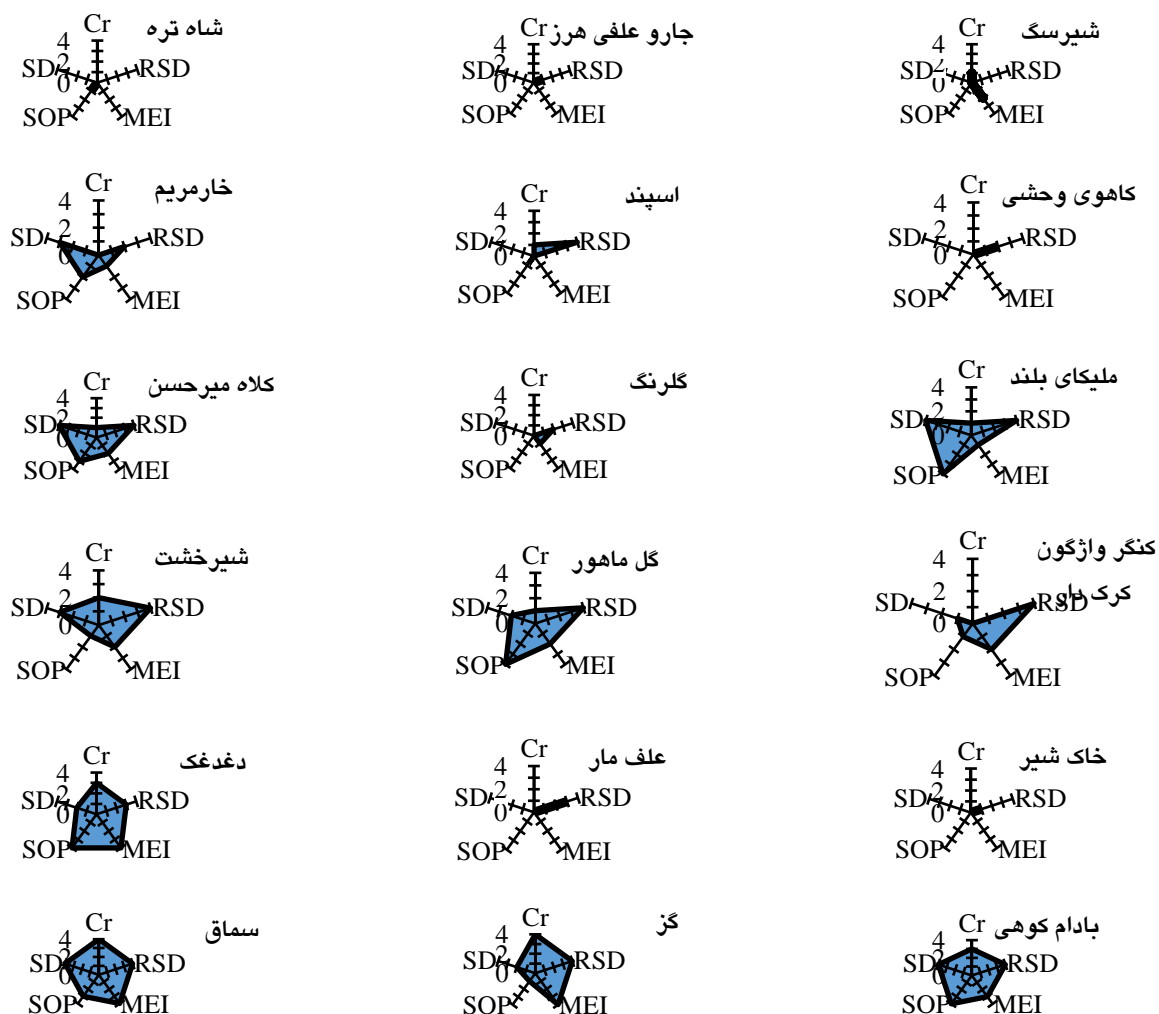
ساقه‌ای و ریشه‌ای بالا می‌توانند از تشکیل و گسترش فرسایش جلوگیری نمایند. گونه‌های علفی ملیکای بلند، علف بره و علف شور توانایی بالایی در مهار فرسایش دارند. در گونه‌های علف بره و ملیکای بلند هر دو اندام هوایی و زیرزمینی گیاه می‌توانند تاثیر اساسی در مهار فرسایش داشته باشند، در حالیکه در گونه‌ی علف شور تأثیر ریشه‌ی گیاه در افزایش پایداری دیواره‌ها و کاهش شدت فرسایش بسیار بیشتر از ساقه است. گیاهان مرزه کوهی، درمنه خاکستری، علف چایی و خارستر می‌توانند در دامنه‌های پر شیب عملکرد خوبی داشته باشند، اما چون ریشه‌ی عمیقی ندارند در مهار کردن حرکات دامنه‌ای کم عمق مؤثر نمی‌باشند. گونه‌ی زلف پیردائمی هرچند گیاه کوچکی است اما





شکل ۳- نمودارهای ستاره‌ای نشان دهنده توانایی ۳۶ گونه‌ی گیاهی بومی منطقه در مهار فرسایش.

ادامه شکل ۳-



مجموع امتیازات مربوط به شاخص‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در نمودار شکل ۵ برای گیاهان

مقایسه توانایی اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در مهار فرسایش

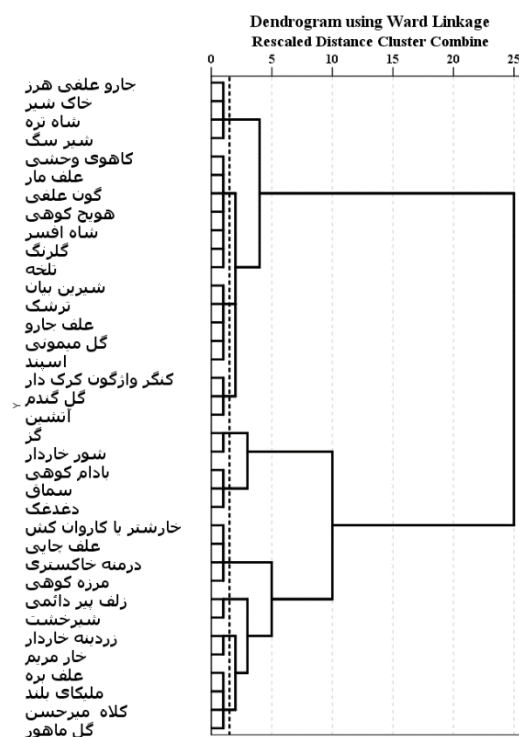
#### شکل ۴- نمودار درختی گروه بندی گونه‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه به روش وارد.

در منطقه با ریشه‌ی متراکم و عمیق رشد و نمو دارند می-توانند جهت مهار فرسایش شیلیاری، آبکندی و دامنه‌های با شیب تند مورد توجه قرار گیرند، این یافته‌ها با نتایج مطالعات گوگ‌بولاق (۲۰۰۳) و دی بتس و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. امتیاز شاخص‌های توانایی تراکم ساقه‌ای (SD)، توانایی ریشه‌ی گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD)، شاخص سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) برای گیاه سماق موجود در منطقه، ۴ (توانایی بسیار بالا) و برای شاخص توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) آن نیز، ۳ (توانایی بالا) است، که نشان می‌دهد این گیاه علاوه بر کاربردهای مختلف از جمله زینتی، طعم دهنده غذا و داروی سنتی (ابو- ریداح و همکاران ۲۰۱۴) می‌تواند در مهار فرسایش آبکندی و ناپایداری دیواره آن‌ها نیز بسیار مؤثر باشد (ویرسیما و لیون ۲۰۱۳).

بومی منطقه نشان داده شده است. مقایسه مجموع مقادیر شاخص‌های مربوط به گیاهان منطقه نشان می‌دهد که هر دو اندام هوایی و ریشه‌ی گونه‌های مرزه کوهی، کنگر واژگون کرک‌دار، علف چایی، گز، زلف پیر دائمی، خارشتر و شیرخشت توانایی بالایی در مهار فرسایش دارند. گیاهان درمنه خاکستری، کلاه میرحسن، گل ماهور، دغدغک، علف بره، سماق، خارمریم و ملیکای بلند با داشتن اندام هوایی بسیار مناسب و ریشه‌ی نسبتاً متراکم نیز توانایی مهار فرسایش را دارند. شیرین بیان، آتشین، علف جارو، ترشک، هویج کوهی، گل میمونی، علف شور و اسپند با ریشه‌ی متراکم می‌توانند در مهار فرسایش خصوصاً در دامنه‌های شیب‌دار و دیواره آبکندها تأثیر زیادی داشته باشند.

#### ویژگی‌های گونه‌های منتخب

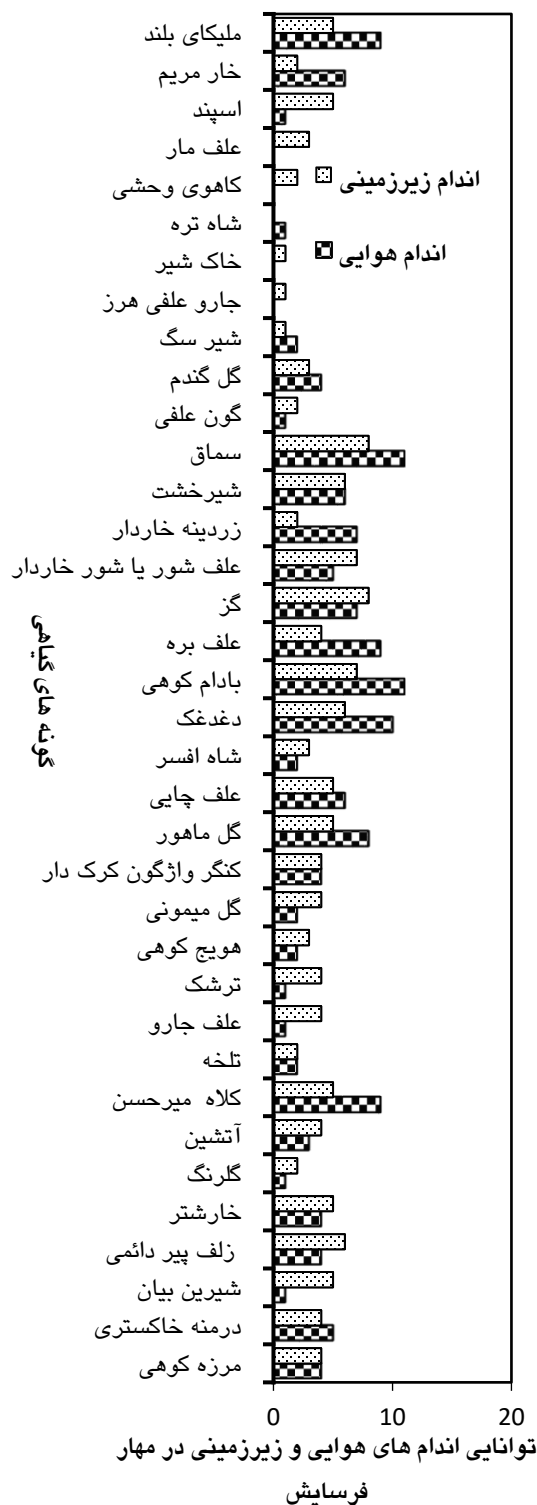
نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک، گز و علف شور که



گونه‌ی سماق می‌تواند در خاک‌های فقیر، با بافت سنگین تا سبک و مناطق سنگلاخی و در شرایط خشک منطقه بخوبی رشد نماید (رو و بلازیچ ۲۰۰۸). ریشه‌ی گیاه سماق می‌تواند تا عمق‌های بیش از ۱۰ متری اطراف تنه‌ی گیاه و در خاک سطحی گسترش پیدا کند که با نتایج مطالعات رو و بلازیچ (۲۰۰۸) نیز مطابقت دارد.

مقادیر شاخص‌های برآوردی برای درختچه‌ی بادام کوهی نشان می‌دهد که این گونه‌ی گیاهی توانایی بالا تا بسیار بالایی (با امتیاز ۳ و ۴) در مهار فرسایش شیلی و آب‌بندی در منطقه دارد. این گیاه با فرم رویشی درختچه‌ای و ساقه‌های همیشه سبز و سیستم ریشه‌ای قوی با قابلیت نفوذ عمودی توانایی زیادی در کاهش شدت فرسایش دارد که با نتایج به دست آمده از میرعبداللهی شمسی و همکاران (۲۰۱۹) منطبق است. این گیاه مقاوم به کم آبی می‌تواند به عنوان گیاه اصلی در احیای پوشش گیاهی در شرایط نیمه خشک و شور منطقه مورد توجه قرار گیرد، بطوریکه مرادی و همکاران (۲۰۲۰) نیز این گونه‌ی گیاهی را برای احیای مناطق نیمه خشک با خاک‌های شور مناسب دانسته‌اند. نتایج مطالعات نشان داد ریشه‌ی این گیاه، بعلت داشتن مقاومت بالا در مقابل تنش‌های خشکی، جهت پیوند زدن به سایر گونه‌های بادام نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (خدیوی خوب و انجام ۲۰۱۶).

گونه‌ی دغدغک در مناطق خشک و کم باران، صخره‌ای و دامنه‌های شیب‌دار منطقه رشد می‌یابد و شاخص‌های برآوردی نشان می‌دهد که توانایی بالایی در مهار فرسایش دارد (رستمی کیا و همکاران ۲۰۲۰). چون دغدغک علاوه بر اهداف داروئی (محمدی و همکاران ۲۰۱۵)، بصورت زینتی و به منظور تامین مواد اولیه صنعت و تولید علوفه نیز کاشته می‌شود (میرزائی و همکاران ۲۰۱۵)، بنابراین می‌تواند علاوه بر احیای منطقه در افزایش تولید نیز مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۵- مقایسه توانایی اندام‌های هوای و زیرزمینی گیاهان بومی منطقه در مهار فرسایش.

شاخص‌های تراکم ساقه‌ای (SD)، توانایی ریشه‌ی گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD) و توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) برای گونه‌ی علف بره در منطقه، ۴ (توانایی بسیار بالا) است که نشان می‌دهد این گیاه توانایی بسیار بالایی در مهار فرسایش شیاری و همچنین آب‌بندی دارد. یافته‌های این پژوهش در خصوص رشد و نمو گیاه علف بره در مقابل تنش‌های محیطی به‌خصوص شرایط خشک منطقه، در زیر سایه سایر گونه‌ها و داشتن ارزش علوفه‌ای بالا در نتایج به دست آمده از سایر مطالعات نیز منعکس شده است (روبینسون و همکاران ۲۰۱۶). در نتیجه، این گونه گیاهی می‌تواند بصورت ترکیبی با گونه‌های درختچه‌ای در منطقه کاشته شود. کاشت نواری و متناوب علف بره و گونه‌های درختچه‌ای می‌تواند در سرتاسر شیب‌ها انجام گیرد. گیاه شیرخشت با توجه به تراکم ساقه‌ای و ریشه‌ای بالا و سازگاری در مناطق کوهستانی منطقه می‌تواند در مهار فرسایش مورد توجه قرار گیرد. خصوصیتی از گیاه شیرخشت مانند داشتن خواص دارویی (زنجین و همکاران ۲۰۱۴)، زینتی (ایرماک ۲۰۱۳)، ارزش علوفه‌ای برای دام‌ها در بیشتر فصول سال (الرحیم و همکاران ۲۰۱۱) باعث افزایش اهمیت آن در احیای مناطق فرسایشی شده است. نتایج مطالعه روانبخش و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد این گیاه می‌تواند در مهار فرسایش در مناطق کوهستانی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

چنانکه نتایج سایر مطالعات نیز نشان می‌دهد، پوشش گیاهان علفی یکی از بهترین محافظ‌های خاک در مقابل فرسایش است (قیو و همکاران ۲۰۱۹). گونه‌های علفی علاوه بر مهار کردن فرسایش در رأس و کف آب‌کندها می‌توانند در خارج از مناطق آب‌بندی نیز جهت کاهش شدت فرسایش در کناره‌های آن‌ها، فرسایش شیاری و همچنین اشکال مختلف فرسایش در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها

مقادیر مربوط به شاخص‌های توانایی ریشه‌ی درختچه‌ی گز در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD)، سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) نشان دهنده توانایی بسیار بالای آن در مهار فرسایش شیاری و آب‌بندی است. متغیرهای مربوط به ریشه‌ی درختچه‌ی گز نشان می‌دهد که این گیاه ضریب ایمنی پایداری را نسبت به خاک بدون ریشه افزایش می‌دهد. براساس نتایج مطالعات اکرمیان و همکاران (۲۰۱۹) نیز ریشه‌های گیاه گز با اتصال لایه‌های سطحی خاک به لایه‌های عمیق‌تر و سنگ بستر، از فرسایش و لغزش توده خاک جلوگیری می‌کند. ارزیابی شاخص‌های مربوط به گیاه علف شور در منطقه نشان می‌دهد که این گیاه می‌تواند در مهار فرسایش شیاری خصوصاً در دامنه‌های با شیب تندتر و فرسایش آب‌بندی در مناطق با خاک‌های حساس به فرسایش بسیار مؤثر باشد. دی بتس و همکاران (۲۰۰۹) نیز گیاه علف شور را به‌عنوان یکی از گیاهان مناسب برای مهار فرسایش شیاری و آب‌بندی معرفی کرده‌اند.

نتایج نشان داد توانایی گیاه گل ماهور با توجه به مقادیر بالای شاخص‌های محاسباتی در مهار فرسایش، بالا بوده و کاربردهای دارویی زیادی نیز دارد. ارزیابی شاخص‌های گیاه ملیکای بلند رشد یافته در منطقه نشان می‌دهد که این گونه‌ی گیاهی توانایی بالایی در مهار فرسایش دارد و گیاهی زینتی نیز محسوب می‌شود. با توجه به سایه پسند و رطوبت دوست بودن، می‌تواند در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها و آب‌کندها بخوبی رشد نماید. گونه‌های جنس کلاه میرحسن با توجه به مقادیر شاخص‌های محاسباتی، توانایی بالایی در مهار فرسایش دارد. نتایج سایر مطالعات در خصوص ارزش اقتصادی، اکولوژیکی و خصوصاً حفاظت از خاک (مظفریان ۲۰۰۷) و همچنین ارزش علوفه‌ای (ارزانی و همکاران ۲۰۱۳) گیاه کلاه میرحسن، مطابق با یافته‌های این پژوهش است. امتیاز

منطقه می‌توانند بطور طبیعی احیاء و یا کاشته شوند. گونه-های علف چایی، درمنه خاکستری، خارشتر، زردینه خاردار، زلف‌پیر دائمی و مرزه کوهی نیز می‌توانند در مناطقی که جریان آب تمرکز می‌یابند یا در محل خروجی آبکندها به منظور ته نشینی رسوبات حاصل از جریان داخل کانال مفید واقع شوند. گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک، گز، علف شور، کنگر واژگون کرکدار و گل ماهور می‌توانند در پایداری سواحل رودخانه‌ها و مسیل‌ها مورد توجه قرار گیرند. ترکیب گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک، گز، علف شور، علف بره و درمنه خاکستری نیز می‌تواند در احیاء و ترمیم پوشش گیاهی منطقه و در نتیجه کاهش شدت فرسایش در جوانب و بالادست آبکندها و در دامنه‌های فرسایشی منطقه مورد استفاده قرار گیرد. روش به‌کار رفته می‌تواند در مورد گیاهان علفی، بوته‌ای و درختچه‌ای سایر مناطق نیز مورد توجه قرار گیرد. اجرای طرح تحقیقی- ترویجی در منطقه بصورت کاشت ترکیبی گونه‌های معرفی شده، به منظور ارزیابی نتایج اجرای عملیات بیولوژیک بسیار ثمر بخش باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود تحقیقات مشابه در راستای شناسایی، دسته‌بندی و نیز اولویت‌بندی گونه‌های مناسب در جهت احیای پوشش گیاهی بومی و کاهش شدت فرسایش در سایر مناطق کشور نیز اجرا شود.

مورد استفاده قرار گیرند (مولینا و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین علاوه بر دو گیاه علفی مهم یعنی گیاه علف شور و علف بره، گونه‌های علفی چایی، درمنه خاکستری، خارشتر، زردینه خاردار، زلف‌پیر دائمی و مرزه کوهی با داشتن شاخص‌های با امتیاز بالا به دلیل اندام‌های هوایی و ریشه‌های متراکم خود، می‌توانند در مهار فرسایش پاشمانی و شیاری و حتی آبکندی مؤثر باشند. با توجه به اینکه گونه‌های خارمریم، اسپند، خاکشیر لغزان و شیرسگ مهاجم می‌باشند لذا استفاده از آن‌ها جهت احیای منطقه توصیه نمی‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به توانایی متفاوت گونه‌ها در کنترل فرسایش، پیشنهاد می‌شود که از ترکیب گونه‌ها جهت مهار فرسایش در ریختارهای مختلف استفاده شود. گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک، گز، علف شور، گل ماهور، کلاه میرحسن، ملیکای بلند، شیرخشت و علف بره برای مهار کردن اشکال مختلف فرسایش از جمله فرسایش شیاری و آبکندی بسیار مناسب هستند. گونه‌های بومی درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی فوق برای مهار فرسایش در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها و آبکندها و در تمام دامنه‌های

### منابع مورد استفاده

- Abu-Reidah IM, Jamous RM and Ali-Shtayeh MS, 2014. Phytochemistry, pharmacological properties and industrial applications of *Rhus coriaria* L. (Sumac). *Jordan Journal of Biological Sciences* 7(4): 233-244.
- Akramian M, Dastorani M, Farzam M and 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 with English abstract).
- Arabameri A and Pourghasemi HR, 2019. Spatial modeling of gully erosion using linear and quadratic discriminant analyses in GIS and R. Pp. 299-321. In: Pourghasemi HR and Gokceoglu C (eds). *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*. Elsevir.
- Arzani H, Moetamedi Torkan J, Jafary M, Farahpour M and Zare Chahooki MA, 2013. Classification of forage quality index highland rangelands of Taleghan. *Quarterly Iranian Journal of Range and Desert Research* 20(2):

- 250-271. (In Persian with English abstract).
- Assadi A, 1988–2009. Flora of Iran. Vols. 1–42. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. (In Persian)
- Davis PH, 1965–1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vols. 1–10. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- De Baets S, Quine TA and Poesen J, 2014. Root strategies for rill and gully erosion control. Pp. 297–323. In: Morte A and Varma A (eds). Root Engineering: Basic and Applied Concepts. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- De Baets S, Poesen J, Knapen A and Galindo P, 2007. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: 1323–1345.
- De Baets S, Poesen J, Reubens B, Muys B, De Baerdemaeker J and 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 Surface Processes and Landforms* 34: 1374–1392.
- De Baets S, Poesen J, Reubens B, Wemans K, De Baerdemaeker J and Muys B, 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. *Plant and Soil* 305: 207–226.
- Dong Y, Xiong D, Su Z, Li J, Yang D, Shi L and 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 and Moeni 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 and Abasizadeh M, 2015. Determining suitable plant species to control gully erosion in Chehel Cheshmeh area of Arjan plain of Fars province. Pp.1-8. Proceedings of the First International Conference on New Findings in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. 16 March, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Gökbulak F, 2003. Comparison 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: 45–53.
- Gray DH and Sotir RB, 1996. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley and Sons, Toronto.
- Guo M, Wang W, Shi Q, Chen T, Kang H and 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.
- Hassen G and 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.
- Irmak MA, 2013. Use of native woody plants in urban landscapes. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 11 (2): 1305-1309.
- Katuwal S, Vermang J, Cornelis WM, Gabriels D, Møldrup P and 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.
- Khadivi-Khub A and Anjam K, 2016. *Prunus scoparia*, a suitable rootstock for almond (*Prunus dulcis*) under drought condition based on vegetative and fruit characteristics. *Scientia Horticulturae* 10: 220-226.
- Liu J, Gao G, Wang S, Jiao L, Wu X and Fu B, 2018. The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences* 28: 59–78.
- Liu X, Li H, Zhang S, Cruse RM and Zhang X, 2019. Gully erosion control practices in northeast china: a review. *Sustainability* 11(5065): 1-16.
- Mirabdollahi Shamsi M, Akbarinia M, Mirabolfathy M, Manzari S and Ahmadikhah A, 2019. Dieback and decline of wild almond (*Amygdalus scoparia* Spach) in the Harat protected forest of Yazd Province. *Forest Pathology* 49(5): e12538.



- Mirzaei L, Assadi M, Nejadstari T and Mehregan I, 2015. Comparative seed and leaf micromorphology of *Colutea* species (Fabaceae) from Iran. *Environmental and Experimental Biology* 13: 183–187.
- Mohamadi N, Sharififar F, Koohpayeh A and Daneshpajouh M, 2015. Traditional and ethnobotanical uses of medicinal plants by ancient populations in Khabr and Rouchon of Iran. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 5 (11): 101-107.
- Molina A, Govers G, Cisneros F and Vanacker V, 2009. Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beds in a degraded mountain area. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 755–767.
- Moradi Y, Khadivi A, Mirheidari F and Paryan S, 2020. Morphological variability of naturally grown *Prunus scoparia* Spach accessions. *Scientia Horticulturae* 267: 1-11.
- Mozaffarian V, 2007. A Dictionary of Iranian Plant Names. Farhang Moaser, Tehran, Iran.
- Mwango SB, Msanya BM, Mtakwa PW, Kimaro DN, Deckers J, Poesen J, Massawe V and Bethuel I, 2014. Root properties of plants used for soil erosion control in the Usambara mountains, Tanzania. *International Journal of Plant and Soil Science* 3(12): 1567-1580.
- Ogunlela OA and Makanjuola MB, 2000. Hydraulic roughness of some African grasses. *Journal of Agricultural Engineering Resources* 75: 221 – 224.
- Ravanbakhsh H, Hamzeh'ee B and Moshki A, 2018. Ecology and phytosociology of *Cotoneaster* shrublands in Central Alborz of Iran. *Dendrobiology* 79: 47–60.
- Rechinger KH, 1963–2010. *Flora Iranica*, No. 1–178. Akademische. Druck-u. Verlagsanstalt, Graz.
- Robbins MD, Staub JE, Bushman and Shaun B, 2016. Development of fine-leaved *Festuca* grass populations identifies genetic resources having improved forage production with potential for wildfire control in the western United States. *Euphytica* 209: 377–393.
- Rostamikia Y, Fattahi M and Sefidi K, 2020. Relationship of growth components of *Bladder senna* (*Colutea persica* Boiss.) with soil and physiographic factors in Kandiragh Forest Reserved of Khalkhal, Ardabil Province. *Ecology of Iranian Forests* 8(15): 32-40. (In Persian with English abstract).
- Rowe DB and Blazich FA, 2008. *Rhus coriaria* L., Sumac. Pp. 954-960. In: Bonner FT and Karrfalt RP (eds). *Woody Plant Seed Manual. Agriculture Handbook 727* U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. The United States of America.
- Talaei R, Soufi M, Beyrami B, Saednia V and Ebrahimi M, 2014. Study and morpho-climatic classification of gullies in Ardabil province. Final Research Report, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Ur-Rahim I, Maselli D, Rueff H and Wiesmann U, 2011. Indigenous fodder trees can increase grazing accessibility for landless and mobile pastoralists in northern Pakistan. *Pastoralism: Research, Policy and Practice* 1:2: 1-20.
- Wiersema JH and León B, 2013. *World Economic Plants, A Standard Reference. Second Edition.* CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London.
- Zarekia S and Abolghasemi M, 2020. *Salsola*, capabilities and potentials (Emphasis on rehabilitating destroyed rangelands and providing forage). *Journal of Iran Nature* 3(5): 79–86. (In Persian with English abstract)
- Zengin G, Uysal A, Gunes E and Aktumsek A, 2014. Survey of phytochemical composition and biological effects of three extracts from a wild plant (*Cotoneaster nummularia* Fisch. et Mey.): A potential source for functional food ingredients and drug formulations. *PLOS ONE* 9(11): 1-13.