Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 13, Issue 26
http://pec.gonbad.ac.ir

Study of Gypsum Ecosystems Species Adaptation in Northeastern Iran (Case study: Khorasan Razavi Province)

Khadijeh Bahalkeh[1], Mehdi Abedi[2*], Sara Palacio[3], Arantzazu L. Luzuriaga[4], Adrian Escudero[4]

[1] PhD student at department of Range Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran
[2]Associate Professor, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
[3]Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Jaca, Huesca, Spain
[4]Área de Biodiversidad y Conservación. Universidad Rey Juan Carlos, Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid, Spain

Received: 2024/07/22; Accepted: 2024/09/09

Abstract

Plants that grow in severe environments have special strategies for adapting to harsh conditions. Gypsum ecosystems host particular species with unique characteristics. To study the adaptations of plant in gypsum ecosystems, five critical species including *Hedysarum monophyllum*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Prunus spinosissima*, *Sclerorhachis platyrachis* and *Thesium kotschyanum* were selected in Khorasan Razavi province as the most important gypsum site in the northeast of the country, in May 2018. Five individuals were selected for each species and morphological traits were measured, including leaf area, leaf length, leaf dry weight, leaf fresh weight, specific leaf area (SLA), and leaf dry matter content (LDMC). Traits such as Al, Ca, Mg, Fe, P, Na, K, Mn, S, C, and N for each species were also measured. A Generalized Linear Mixed Model (GLMM) was used to assess significance and Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test was also applied for mean comparisons. Principal Component Analysis (PCA) was applied for multivariate analysis. All statistical analyses were performed using R software. Our findings demonstrated that most leaf chemical traits were significant, with the exception of Na. The amount of K, Ca, and S had the lowest values (10.83±0.5, 1.91±1.2 and 3.06±0.3) in *P. spinosissima* and significant differences. In contrast, the amount of C was the highest (471.2±2.7) with significant differences. Additionally, the levels of Mn, Al, Mg, and Fe were significantly higher in *K. ceratoides* (1.39±0.12, 2.27±0.2, 7.23±0.4, and 0.22±0.02). The amount of Na had no significant differences among species. The amount of P and Cu was higher (1.61±0.39 and 0.02±0.003) in *T. kotschyanum* .In terms of morphological traits, all were significantly different except for leaf thickness. The *K. ceratoides* had the highest fresh weight (0.09±0.01), dry weight (0.05±0.03) and leaf dry matter content (64.51±4.7), *S. platyrachis* had a higher leaf length (2.99±0.15), and *H. monophyllum* had a higher leaf area (2.39±0.18) and specific area (6.38±0.91) and *T.kotschyanum* had a highest fresh weight (0.009±0.02). Overall, gypsophytes with S and Ca accumulations and gypsovags with P, K, C, and N accumulations in leaves will be better suited to harsh gypsum conditions. These results could be applied to the restoration and conservation of these habitats and their rare species.

Keywords: Robat sefid, Elements, Gypsophytes, Functional ecology, Conservation

*Corresponding author: mehdi.abedi@modares.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره سیزدهم، شماره بیست و ششم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

بررسی نحوه سازگاری گونه‌های زیست‌بوم گچی در شمال شرق کشور (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

خدیجه بهلکه[1]، مهدی عابدی[2*]، سارا پالاسیو[3]، آرانتزولا ال لوزوریگا[4]، آدرین اسکودرو[4]

[1]دانشجو دکتری گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[2]دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[3]موسسه اکولوژی پیرنه (IPE-CSIC)، جاکا، هوئسکا، اسپانیا
[4]تنوع زیستی و منطقه حفاظت شده موستلس، تولیپان، دانشگاه ری خوان کارلوس، مادرید، اسپانیا

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

چکیده

گیاهانی که در رویشگاه‌های سخت رویش دارند استراتژی‌های اختصاصی برای مقابله با شرایط سخت محیطی دارند. رویشگاه‌های گچی با داشتن شرایط خاص پذیرای گونه‌های منحصربه‌فردی هستند. برای بررسی سازگاری گیاهان در رویشگاه‌های گچی در سال ۱۳۹۷، ۵ گونه مهم رباط سفید شامل *Prunus* ،*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) GueldenstT ،*Hedysarum monophyllum* Boriss ،*spinosissima* (Bunge) Franch و *Sclerorhachis platyrachis* (Boiss.) Podlech ex Rech.f و *Thesium kotschyanum* Boiss در استان خراسان رضوی به عنوان مهمترین سایت گچی شمال شرق کشور انتخاب شد. از هر گونه ۵ پایه گیاهی انتخاب و صفات مورفولوژی شامل سطح برگ، طول برگ، وزن تر و خشک برگ، سطح ویژه برگ و محتوای ماده خشک برگ اندازه‌گیری شد. برای صفات شیمیایی پارامترهای آلومینیوم، کلسیم، منیزیم، آهن، مس، فسفر، سدیم، پتاسیم، منگنز، سولفور، کربن و نیتروژن اندازه‌گیری شد. از مدل GLMM برای بررسی عامل تاثیرگذار بر صفات برگ گیاهان و برای مقایسه بین میانگین‌ها از آزمون توکی HSD و برای تجزیه و تحلیل چند متغیره از PCA استفاده شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار R صورت گرفت. نتایج نشان داد تمام صفات شیمیایی برگ به جز سدیم اختلاف معنادار دارند. میزان S, Ca, K در گونه *P. spinosissima* دارای کمترین مقدار (۰/۵±۱۰/۸۳، ۱/۲±۱/۹۱ و ۰/۳±۳/۰۶) نسبت به سایر گونه‌ها بود اما میزان C در آن دارای بیشترین مقدار (۲/۷±۴۷۱/۲) و دارای اختلاف معنادار با سایر گونه‌ها بود. میزان Mn, Mg ,Al, Fe در گونه *K. ceratoides* بیشترین مقدار (۰/۱۲±۱/۳۹، ۰/۲±۲/۲۷، ۰/۴±۷/۲۳ و ۰/۰۲±۰/۲۲) و دارای تفاوت معنادار با سایر گونه‌ها بود. میزان Na تفاوت معنادار بین گونه‌ها نداشت. مقدار P و Cu در گونه *T. kotschyanum* دارای بیشترین مقدار (۰/۳۹±۱/۶۱ و ۰/۰۰۳±۰/۰۲) نسبت به سایر گونه‌ها بود . بر اساس نتایج مشاهده شد که تمام صفات مورفولوژی برگ گیاهان به‌جز ضخامت معنادار است. به‌طوری‌که گونه *K.ceratoides* دارای بیشترین میزان وزن تر (۰/۰۱±۰/۰۹)، وزن خشک (۰/۰۰۳±۰/۰۵) و محتوای ماده خشک برگ (۵۱/۷±۶۴/۴)، گونه *S.platyrachis* طول (۰/۱۵±۲/۹۹) و سطح ویژه برگ (۰/۷۳±۸/۷۱)،گونه *H.monophyllum* سطح (۰/۱۸±۲/۳۹) و سطح ویژه برگ (۰/۹۱±۶/۳۸)، گونه *P.spinosissima* سطح ویژه برگ (۱۲/۱±۸۰/۸۱) و گونه *T.kotschyanum* وزن تر برگ (۰/۰۲±۰/۰۹) است. به‌طورکلی گیاهان گچ‌دوست اجباری با ذخیره سولفور و کلسیم و گونه‌های گچ دوست اختیاری با ذخیره عناصر مغذی مانند فسفر، پتاسیم، کربن و نیتروژن در برگ‌های خود با شرایط سخت رویشگاه گچی مقابله می‌کنند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان برای احیا و حفاظت از چنین رویشگاهی از گونه‌های منحصربه‌فرد آن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: **رباط سفید، عناصر، گچ‌دوست، اکولوژی کارکردی، حفاظت**

* نویسنده مسئول: mehdi.abedi@modares.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

مقدمه

خاک‌های با شرایط سخت اغلب با عدم تعادل مواد مغذی همراه هستند. خاک‌های گچی ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) یکی از رویشگاه‌های با شرایط سخت محیطی است (Casby-Horton et al., 2015). تخمین زده شده که سطح این خاک‌ها بین ۱۰۰ (Verheye and Boyadgiev, 1997) تا ۲۰۷ میلیون (Eswaran and Gong, 1991) هکتار متغیر است. فلور خاک‌های گچی دارای تنوع زیادی است و بسیاری از آنها جزو گیاهان نادر و بومی است (Mota et al., 2017). بر اساس مطالعات اولیه، ۳۰۱ گونه گچ‌دوست در ایران شناسایی شده است که از این بین، ۹۱ گونه گچ‌دوست اجباری است (Pérez-García et al., 2018). این رویشگاه‌ها به‌دلیل ترکیب خاک منحصربه‌فرد خود تنش‌های تغذیه‌ای را برای گیاهان ایجاد می‌کنند (Casby-Horton et al., 2015). با وجود این شرایط، رویشگاه‌های گچی از جوامع گیاهی متنوع حمایت می‌کنند (Moore et al., 2014). این گیاهان مکانیسم‌های خاصی را برای مقابله با شرایط سخت ایجاد کرده‌اند که این استراتژی‌ها به آن‌ها اجازه می‌دهد تا عملکرد و رشد خود را نسبت به گیاهان دیگر در شرایط سخت بهینه کنند (Cody, 1978; Bahalkeh et al, 2024; Yousefi et al, 2025). با توجه به محدودیت‌های خاک‌های گچی گونه‌های این رویشگاه‌های گچی به دو گروه اصلی گونه‌های گچ‌دوست اجباری[3] و گونه‌های گچ‌دوست اختیاری[4] طبقه‌بندی می‌شوند. گونه‌های گچ‌دوست اجباری به‌طور انحصاری در خاک‌های گچی یافت می‌شوند، ولی گونه‌های گچ‌دوست اختیاری در هر دو نوع خاک‌های گچی و غیر گچی می‌توانند حضور داشته باشند (Meyer and García-Moya, 1989; Palacio et al., 2007; Canadas et al., 2014). رویشگاه‌های گچ که برای گیاهان بسیار دشوار هستند، غلظت مواد مغذی نامتعادل در خاک دارند. به‌خصوص کلسیم، سولفور و منیزیم اضافی ناشی از بستر گچ باعث کمبود عناصر غذایی اساسی مانند نیتروژن و فسفر می‌شود. گیاهان باید مکانیسم‌هایی برای تنظیم غلظت درون سلولی پیداکنند تا بتوانند با غلظت بیش‌ازحد مواد مغذی جذب-شده از بستر خاک مقابله کنند. این‌گونه مکانیسم‌های تعادل عناصر خاک، اساس سازگاری گیاه در خاک‌های گچی را تشکیل می‌دهند. در دهه‌های اخیر محققان برای تحلیل یک زیست‌بوم به اکولوژی کارکردی روی آورده‌اند. این رویکرد به‌دنبال بررسی خدمات کارکردی زیست‌بوم و نحوه سازگاری گیاهان به تغییرات محیطی و مدیریتی است (Garnier and Navas, 2012). کارکرد مرتع نشان‌دهنده چگونگی انجام فرایندهای اولیه اکولوژیک مرتع است (ارزانی و عابدی، ۱۳۹۴). صفات کارکردی هر صفت قابل اندازه‌گیری گیاه است که بر کارایی کل گیاه مؤثر است. این صفات مربوط به چگونگی به‌دست آوردن منابع، به اشتراک گذاشتن منابع و نحوه ذخیره این منابع هستند (Maire *et al*., 2012; Gross et al., 2024). این صفات می‌توانند به‌صورت صفات مختلف مورفولوژیک، فنولوژیک، اکوفیزیولوژیک و شیمیایی و یا از بخش‌های مختلف گیاه مانند ریشه، برگ، ساقه و یا کل گیاه باشند که به عوامل طبیعی پاسخ و یا روی آنها تأثیر می‌گذارند (Violle et al., 2007). گیاهان با تغییر در تخصیص زی‌توده در اندام‌های خود به تغییرات زنده و غیرزنده پاسخ می‌دهند (Bartušková et al., 2015). اطلاعات صفات گیاهی برای درک تکامل گیاهی، پویایی پوشش گیاهی و پاسخ آن به آشفتگی و مدیریت ضروری است. پایداری یک گیاه در یک منطقه مشخص بستگی به شیوه مدیریت آن گونه دارد که چگونه منابع را به‌دست می‌آورد، حفظ می‌کند و در طول زمان از دست می دهد (Cornelissen et al., 2003). در سال‌های اخیر مطالعه صفات کارکردی گیاه در تحقیقات اکولوژیکی و اکوفیزیولوژیکی مورد توجه خاصی قرار گرفته است. این علاقه از این ایده ناشی می‌شود که صفات کارکردی می‌توانند مبنایی پایدار برای بیان فرآیندهای اکولوژیکی بنیادی از اصول اولیه فراهم کنند (McGill et al., 2006). صفات کارکردی بر رشد، زادآوری و بقای ارگانیسم‌ها و همچنین روابط بین ارگانیسم‌های گونه‌های مختلف تأثیر می‌گذارند. اگرچه تاکنون بررسی صفات کارکردی با تاکید بر صفات مورفولوژی در کشور مورد بررسی قرار گرفته است، اما

[3] Gypsophiles
[4] Gypsovags

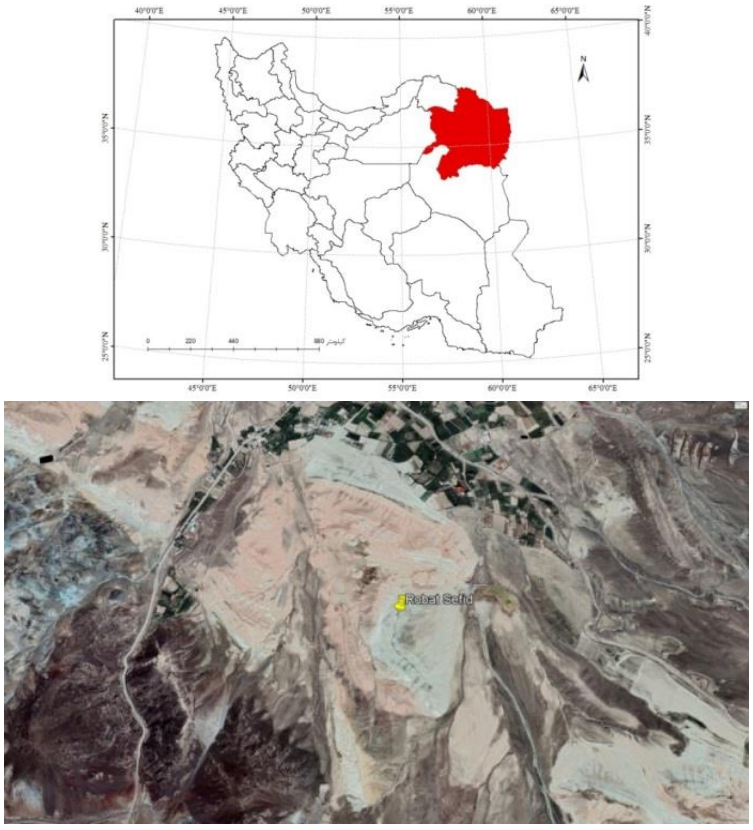
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

مطالعات کمی از صفات شیمیایی با تاکید بر عناصر در کشور انجام شده است. مطالعاتی که روی گونه‌های گچ‌دوست در کشور انجام شده است نیز خصوصیات شیمیایی گونه‌ها بررسی نشده است (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۱؛ ربیع‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ ربیع‌زاده و نصرالهی، ۱۴۰۱؛ ربیع‌زاده و بهادری، ۱۴۰۳).

شمال شرق کشور دارای تنوع بالایی از بستر خاک است که در این بین تنوع بالایی از رویشگاه‌های مارنی در شمال شرق کشور گزارش شده است (Memariani, 2020). مهمترین رویشگاه گچی گزارش‌شده در شمال شرق کشور در منطقه رباط سفید واقع شده است که دارای گونه‌های گچ دوست شاخصی است (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۱) هدف از این پژوهش بررسی نحوه سازگاری گیاهان در رویشگاه گچی منطقه رباط سفید در خراسان رضوی با تاکید بر صفات شیمیایی برگ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در یک رویشگاه گچی بنام رباط سفید در ۷۵ کیلومتری مشهد در خراسان رضوی به موقعیت جغرافیایی "۵۵/۸۹ '۴۵ ۳۵º عرض شمالی و "۲۰/۷۷ '۲۳ ۵۹º عرض شرقی واقع شده است (شکل ۱). دمای متوسط سالیانه این منطقه ۱۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالیانه آن ۳۶۸/۸ میلی‌متر و ارتفاع متوسط آن ۱۸۰۰ متر از سطح دریا است. رباط سفید یک منطقه گچی با ارزش است که میزان گچ آن به صورت متوسط ۳۰ درصد و از صفر تا حدود ۶۸ درصد گزارش شده است (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۱). چرای دام شدید در این رویشگاه شدید است و به علت نزدیکی به روستا در معرض تخریب می باشد. این رویشگاه درای ۸۵ گونه است که تعداد ۲۱ گونه گچ دوست و ۶۴ گونه گچ دوست اختیاری در آن گزارش شده است (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۱). این منطقه دارای موزاییکی از خاک آمیخته با سرپانتین است. گونه‌های مهمی از خانواده‌های Fabaceae و Asteraceae در این منطقه رویش دارد.



شکل ۱- موقعیت رویشگاه مورد بررسی در منطقه موردمطالعه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

انتخاب گونه‌ها و اندازه‌گیری صفات کارکردی: این مطالعه در دو بخش اندازه‌گیری صفات مورفولوژی و شیمیایی برگ گیاهان صورت گرفته است. در بهار سال ۱۳۹۷ در منطقه رباط سفید، ۵ گونه ، *Hedysarum monophyllum*، *Kraschenninnikovia ceratoides*، *Prunus spinosissim*، *Sclerorhachis platyrachis* و *Thesium kotschyanum* انتخاب شد (جدول ۱).

جدول ۱- لیست گونه‌ها در رویشگاه مورد مطالعه. گروه کارکردی Gypsovag= گونه گچ دوست اختیاری، گروه کارکردی Gypsocline= گونه گچ دوست اجباری

شماره	گونه	خانواده	گروه کارکردی
۱	*Hedysarum monophyllum* Boriss.	Fabaceae	Gypsocline
۲	*Kraschenninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.	Amaranthaceae	Gypsovag
۳	*Prunus spinosissima* (Bunge) Franch.	Rosaceae	Gypsovag
۴	*Sclerorhachis platyrachis* (Boiss.) Podlech ex Rech.f.	Asteraceae	Gypsocline
۵	*Thesium kotschyanum* Boiss.	Santalaceae	Gypsovag

صفات مورفولوژیکی: صفات برگ شامل سطح ویژه‌ی برگ، سطح برگ، ضخامت برگ، وزن تر و خشک برگ، محتوای ماده‌ی خشک برگ انتخاب شد. برای این منظور از هر گونه ۵ پایه انتخاب و از هر پایه گیاهی ۲ برگ یا ساقه فتوسنتزکننده سالم تفکیک شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن سطح برگ با استفاده از نرم افزار ImageJ تعیین شد. سپس برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای۶۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک شد و وزن خشک اندازه‌گیری شد. سطح ویژه برگ از نسبت بین سطح برگ و وزن خشک برگ (SLA =(LA⁄DM)، و محتوای ماده خشک برگ از نسبت بین وزن تازه و خشک برگ LDMC =(DM/FM)×۱۰۰ محاسبه شد (Abedi et al, 2022; Jalali et al, 2024). برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی از دستورالعمل استاندارد استفاده شد (Cornelissen *et al*., 2003; Pérez-Harguindeguy et al., 2016; Kattge et al, 2020).

صفات شیمیایی: برای بررسی صفات شیمیایی ۴ گرم از نمونه‌های برگ مورد نیاز است که در عرصه از هر گونه ۵ تکرار انتخاب و نمونه‌های برگ‌ها جمع‌آوری شد. سپس برای اندازه‌گیری صفات شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد. پایه‌های انتخاب شده عاری از هر گونه بیماری و تغییر رنگ بود و تحت تأثیر علفخواران نبود. برای تعیین صفات شیمیایی، برگ‌ها شسته و با دستمال خشک شدند و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه‌سانتی‌گراد قرارگرفتند تا خشک شوند (Minden *et al*., 2012). سپس برگ‌ها با استفاده از آسیاب ساچمه‌ای آسیاب شدند (Retsch Mixer MM400). نمونه‌های گیاهی با استفاده از مایکروویو هضم اسید (speedwave MWS-3^{+}, BERGHOF, Eningen, Germany) در محلول HNO_3-H_2O_2 حل شد. سپس محلول از صافی رد شد و اندازه‌گیری صفات شیمیایی Al، Ca، K، Mg، Mn، Na، S، Cu و Fe با استفاده از (ICP-OES, Varian ICP 720-ES, analytical services of the Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Spain) و N و C کل با استفاده از CHN-Analyser در موسسه تحقیقات CSIC اسپانیا انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری: از مدل خطی ترکیبی تعمیم‌یافته برای بررسی عامل تاثیرگذار بر صفات برگ گیاهان استفاده شد. مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی HSD و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک و بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. مدل‌ها در بسته lm4e و car انجام شد. برای تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی از PCA استفاده شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۴،۲،۲ صورت گرفت.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

نتایج

بر اساس نتایج حاصل از مدل مشاهده شد که درگونه‌های مورد مطالعه اختلاف معناداری بین تمام صفات شیمیایی برگ به جز سدیم وجود دارد (جدول ۲). میزان K، Ca و S در گونه *P.spinosissima* به ترتیب دارای کمترین مقدار با تفاوت معنادار (۱۰/۸۳±۰/۵، ۱/۹۱±۱/۲ و ۳/۰۶±۰/۳) نسبت به سایر گونه‌ها بود. و در عوض میزان C آن دارای بیشترین مقدار (۴۷۱/۲±۲/۷) و دارای اختلاف معنادار با سایر گونه‌ها بود. میزان Fe، Al ، Mg و Mn در گونه *K.ceratoides* بیشترین مقدار (۱/۳۹±۰/۱۲، ۲/۲۷±۰/۲، ۷/۲۳±۰/۴ و ۲۲/۰۲±۰/۰) و دارای تفاوت معنادار با سایر گونه ها بود. مقدار P و Cu در گونه *P.spinosissima* کمترین مقدار (۸/۰۸±۰/۰ و ۰/۰۰۱±۰/۰۰۵) و در گونه *T.kotschyanum* بیشترین مقدار (۱/۶۱±۰/۳۹ و ۰/۰۰۳±۰/۰۲) بود. گونه *P.spinosissima* دارای کمترین مقدار Ca, K,S,Cu,Fe,N بود (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج مدل خطی ترکیبی تعمیم یافته برای بررسی صفات شیمیایی برگ گیاهان گچ‌دوست

	Al	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S	C	N	Cu	Fe
Df	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	
مقدار F	۳۲/۶۶	۹/۱۲	۱۶/۴۱	۹/۳۶	۱۴/۸۹	۱/۹۱	۳/۰۱	۲۳/۷۴	۳۷/۱۸	۳/۸۴	۱۰/۴۹	۳۷/۵۵
مقدار P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۱۵	۰/۰۴	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۲	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱

مقادیر F نشان‌دهنده میزان تأثیر و نیز سطح معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر صفات شیمیایی برگ گیاهان گچ‌دوست مختلف

صفات شیمیایی	گونه				
	K.ceratoides	*S.platyrachis*	*H.monophyllum*	*P.spinosissima*	*T.kotschyanum*
Al	۲/۰±۲۷/۲a	۱/۰±۱۲/۱b	۰/۰±۹۷/۱bc	۰/۰±۶/۱bc	۰/۰±۵۳/۱c
Ca	۲۷/۲±۷۹a	۲۸/۱±۱۴/۴a	۳۱/۰±۷۸/۷a	۱۴/۱±۹۱/۲b	۳۴/۴±۰۸/۷a
K	۲۴/۲±۴۷/۴a	۳۵/۴±۶۶/۶a	۱۱/۰±۱۵/۳b	۱۰/۰±۸۳/۵b	۳۱/۳±۹۹/۶a
Mg	۷/۰±۲۳/۴a	۳/۰±۴۹/۳bc	۲/۰±۶۶/۲c	۲/۰±۹۱/۲bc	۵/۱±۵۱/۳ab
Mn	۰/۰±۲۲/۰۲a	۰/۰±۱/۰۱b	۰/۰±۱۱/۰۱b	۰/۰±۰۴/۰۱b	۰/۰±۱/۰۳b
Na	۵/۰±۶۲/۷	۴/۱±۷۸/۵	۰/۰±۳۱/۱	۰/۰±۵۵/۳	۹/۶±۹۴/۲
P	۰/۰±۹۷/۰۵ab	۰/۰±۹۳/۰۴ab	۰/۰±۹۵/۰۶ab	۰/۰±۸/۰۸b	۱/۰±۶۱/۳۹a
S	۱۲/۱±۴۷/۲۴a	۱۲/۰±۰۴/۴۷a	۱۲/۱±۵/۰۴a	۳/۰±۰۶/۳b	۹/۱±۸۳/۱۷a
C	۳۶۲/۷±۴/۳c	۲±۳۸۸/۱bc	۳±۴۰۰/۳b	۴۷۱/۲±۲/۷a	۳۷۵/۱۴±۸/۵bc
N	۳۱/۳±۵۲/۳a	۲۵/۰±۲۶/۳ab	۲۲/۰±۳۶/۸ab	۲۰/۱±۸۸b	۳۰/۴±۰۷/۱ab
Cu	۰/۰±۰۱/۰۰۱bc	۰/۰±۰۱۴/۰۰۲ab	۰/۰±۰۱/۰۰۲ab	۰/۰±۰۰۵/۰۰۱c	۰/۰±۰۲/۰۰۳a
Fe	۱/۰±۳۹/۱۲a	۰/۰±۶۸/۰۴b	۰/۰±۷/۰۷b	۰/۰±۳۸/۰۳c	۰/۰±۳۴/۰۴c

حروف نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح ۰/۰۵ است.

بر اساس نتایج حاصل از مدل مشاهده شد که تمام صفات مورفولوژی برگ گیاهان به‌جز ضخامت معنادار است (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات مورفولوژی برگ نشان داد که گونه *K.ceratoides* دارای بیشترین میزان وزن تر (۰/۰۹±۰/۰۱)، وزن خشک (۰/۰±۰۵/۰۰۳) و محتوای ماده خشک برگ (۶۴/۵۱±۴/۷)، گونه *S.platyrachis* طول (۲/۹۹±۰/۱۵) و سطح ویژه برگ (۸/۷۱±۰/۷۳)،گونه *H.monophyllum* سطح (۲/۰±۳۹/۱۸) و سطح ویژه برگ (۶/۳۸±۰/۹۱)، گونه *P.spinosissima* سطح ویژه برگ (۸۰/۸۱±۱۲/۱) و گونه *T.kotschyanum* وزن تر برگ (۰/۰۹±۰/۰۲) است (جدول ۵).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

جدول ۴- نتایج مدل خطی ترکیبی تعمیم‌یافته برای بررسی صفات مورفولوژی برگ گیاهان گچ‌دوست

	سطح (cm2)	طول (cm)	وزن تر (mg)	ضخامت (Micrometer)	وزن خشک (mg)	سطح ویژه (mm2/mg)	محتوای ماده خشک (g/g)
Df	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
مقدار F	۸۷/۱۳	۶۲/۱۹	۱۵/۸۴	۱۸/۳۷	۵۴/۹۸	۲۵/۱۴	۱۱/۲۲
مقدار P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۵۳	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱

مقادیر F نشان‌دهنده میزان تأثیر و نیز سطح معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ ارائه شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفولوژی برگ گونه‌های مختلف

صفات مورفولوژی	گونه				
	K.ceratoides	*S.platyrachis*	*H.monophyllum*	*P.spinosissima*	*T.kotschyanum*
سطح برگ	۰/۰±۱۷/۰۳c	۱/۰±۰۱/۱b	۲/۰±۳۹/۱۸a	۰/۰±۴۹/۰۵c	۰/۰±۳۲/۰۳c
طول برگ	۰/۰±۹۴/۰۴d	۲/۰±۹۹/۱۵a	۲/۰±۱۶/۱۱b	۱/۰±۵۶۴/۰۶c	۲/۰±۲۹/۱۲b
وزن تر برگ	۰/۰±۰۹/۰۱a	۰/۰±۰۳/۰۰۱b	۰/۰±۱/۰۱a	۰/۰±۰۱/۰۰۱b	۰/۰±۰۹/۰۲a
ضخامت برگ	۰/۰±۰۸/۰۱	۰/۰±۰۸/۰۱	۰/۰±۲۶/۰۲	۰/۰±۱۲/۰۰۳	۰/۰±۶۳/۱۱
وزن خشک برگ	۰/۰±۰۵/۰۰۳a	۰/۰±۰۱/۰d	۰/۰±۰۴/۰۰۳b	۰/۰±۰۱/۰۰۱d	۰/۰±۰۲/۰۰۳c
سطح ویژه برگ	۰/۰±۳۱/۰۴b	۸/۰±۷۱/۷۳a	۶/۰±۳۸/۹۱a	۸/۱±۰۸/۲۱a	۱/۰±۴۴/۲۶b
محتوای ماده خشک برگ	۶۴/۴±۵۱/۷a	۴۱/۱±۴۴/۵bc	۴۱/۱±۰۹/۹bc	۵۸/۷±۴۶/۶ab	۲۸/۲±۱۸/۶c

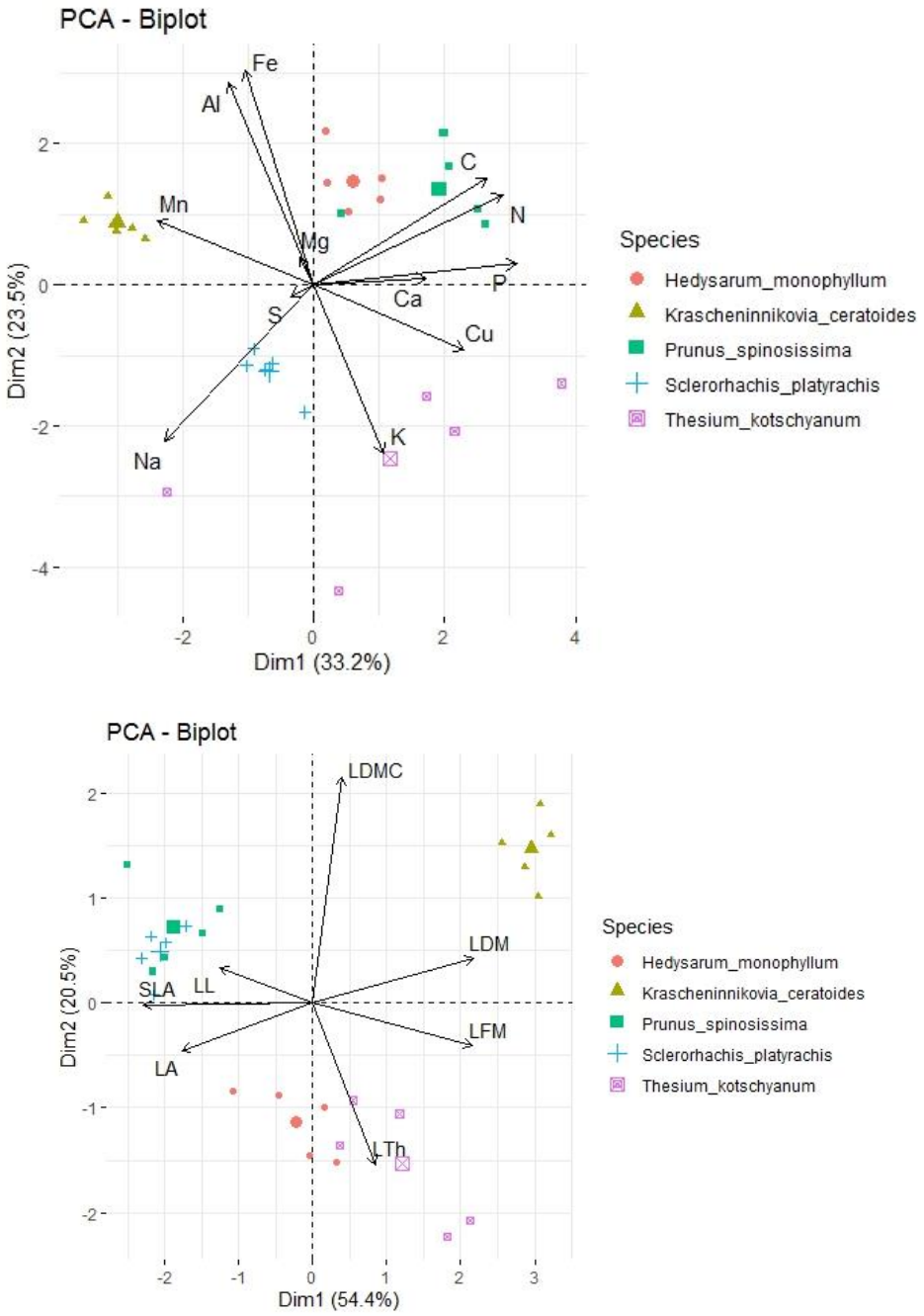
حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۹۵ است.

بر اساس نتایج حاصل از PCA، محور اصلی اول ۳۳/۲ درصد و محور اصلی دوم ۲۳/۵ درصد تغییرات صفات شیمیایی برگ را نشان می‌دهد. محور اصلی اول با صفات فسفر، نیتروژن و کربن و محور اصلی دوم با صفات آهن، آلومینیوم و پتاسیم بیشترین همبستگی را نشان داد. بر اساس نتایج PCA حاصل از مورفولوژی، محور اصلی اول ۵۴/۴ درصد و محور اصلی دوم ۲۰/۵ درصد تغییرات را نشان داد. بر این اساس محور اصلی اول با صفات ، سطح ویژه برگ، وزن خشک برگ و وزن تر برگ و محور اصلی دوم با محتوای ماده خشک برگ، ضخامت بیشترین همبستگی را دارد. گونه *K.ceratoides* با صفت منگنز، آلومینیوم و آهن و گونه *S.platyrachis* با سولفور و سدیم، گونه *T.kotschyanum* با پتاسیم و مس و گونه‌های *H.monophyllum* و *P.spinosissima* با صفات فسفر، کربن و نیتروژن بیشترین ارتباط را دارند (شکل ۲: جدول ۶).

جدول ۶- میزان مشارکت صفات شیمیایی و مورفولوژی با محور اول و دوم PCA. * بیانگر معناداری در سطح ۱ درصد است**

صفات شیمیایی برگ	محور اول	محور دوم	صفات شیمیایی برگ	محور اول	محور دوم
Al	۳/۵	۲۴/۱***	Mn	۱۱/۸***	۲/۴
Ca	۶/۲***	۰/۰۲	Na	۱۰/۷***	۱۴/۳***
Cu	۱۰/۹***	۲/۵	P	۱۹/۹***	۰/۳
Fe	۲/۳	۲۷/۲***	S	۰/۲۴	۰/۰۷
K	۲/۳	۱۶/۸***	C	۱۴/۵***	۶/۷***
Mg	۰/۰۹	۰/۴	N	۱۷/۳***	۴/۸
صفات مورفولوژی برگ	**محور اول**	**محور دوم**	**صفات مورفولوژی برگ**	**محور اول**	**محور دوم**
سطح برگ	۱۵/۵***	۲/۶	وزن خشک برگ	۲۳/۵***	۲/۳
طول برگ	۷/۷***	۱/۴	سطح ویژه برگ	۲۵/۹***	۰/۰۱
وزن تر برگ	۲۳/۱***	۲/۲	محتوای ماده خشک برگ	۰/۷	۶۰/۳***
ضخامت برگ	۳/۵	۳۱/۱***			

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۲- آنالیز مؤلفه اصلی صفات شیمیایی و مورفولوژی برگ گیاهان مختلف در رویشگاه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که گونه‌های گیاهی استراتژی‌های متفاوتی برای استقرار و بقا در رویشگاه‌های مختلف دارند. همچنین گونه‌های گچ‌دوست اجباری و اختیاری الگوهای مختلفی در عناصر نشان دادند. در منطقه رباط سفید گروهی از گونه‌ها مانند *S.platyrachis* که یک گونه گچ‌دوست اجباری است توانایی ذخیره سولفور را در برگ‌های خود دارد، برخی دیگر توانایی ذخیره مواد مغذی را دارند که به این طریق به فعالیت حیاتی خود ادامه می‌دهند این گیاهان به عنوان گیاهان گچ‌دوست اختیاری هستند مانند *P.spinosissima* و *T.kotschyanum*. همچنین نتایج نشان داد که دو گونه گچ‌دوست اجباری *H.*

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

monophyllum و *S. platyrachis* دارای پاسخ کلی یکسانی از عناصر شیمیایی علی‌رغم برخی تفاوت‌ها نشان می‌دهند. میزان صفت شیمیایی سدیم و سولفور و همچنین کلیسم در گونه *S.platyrachis* نسبت به سایر گونه‌ها بالاتر بود و میزان مواد مغذی آن‌ها مانند کربن، نیتروژن، فسفر و کلسیم پایین است. این گونه در طبقه‌بندی گیاهان در گروه گچ‌دوستان اجباری قرار دارد و با ذخیره این عناصر در برگ خود با شرایط منطقه سازگاری پیدا کرده است. همان‌طورکه اشاره شد یکی از خواص نامطلوب گچ حضور صفت شیمیایی سولفور است که برای رشد گیاه مضر است. سولفور اضافی می‌تواند برای گیاهان سمی باشد (Ruiz et al., 2003). این استراتژی مربوط به گیاهانی می‌شود که در رویشگاه‌های گچی استقرار دارند و با تجمع سولفور در بافت‌های خود در پاسخ به غلظت‌های بالا بر شرایط سخت محیطی غلبه می‌کنند (Palacio et al., 2014; Bolukbasi et al., 2016; Yousefi et al, 2025). مقادیر بالای ذخیره سدیم نیز نشان می‌دهد این گونه توانایی تحمل مقداری از شوری را نیز دارد که با نتایج محققانی که بیان کردند گونه‌های ژیپسوهالوفایت توانایی تحمل مقادیر بالای سدیم و سولفور را دارد مطابقت دارد (Matinzadeh et al., 2019). گونه دوم گچ‌دوست اجباری گونه *H.monophyllum* نیز دارای مقادیر بالایی از سولفور و کلسیم در برگ است که با الگوی کلی گونه‌های گچ‌دوست اجباری مطابقت دارد، ولی دارای توانایی ذخیره مقدار بالای سدیم را نشان نداد و از این نظر با گونه قبل تفاوت مشخصی دارد (Robson et al., 2017; Muller et al., 2017; Cera et al., 2023).

گونه‌های گچ‌دوست اختیاری دارای الگوهای مختلفی از نظر عناصر هستند. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که گونه *K.ceratoides* دارای مقدار بالایی از عناصر آلومینیوم، منگنز و آهن است. این گونه متعلق به خانواده Amaranthaceae است که به صورت گسترده در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و شور و قلیا وجود دارد (Liu et al., 2024). گونه *P.spinosissima* با صفات فسفر، کربن و نیتروژن بیشترین همبستگی را دارد که نشان‌دهنده مواد مغذی بیشتر در برگ‌های این گیاهان است. این گیاهان برای فعالیت حیاتی خود این عناصر را در برگ‌های خود ذخیره می‌کنند. گونه *T.kotschyanum* دارای پتاسیم و مس بیشتری است. این گیاهان گونه‌های گچ‌دوست اختیاری هستند که با این مکانیسم‌ها توانسته‌اند بر محدودیت‌های شیمیایی کلسیم و سولفور غلبه و در این خاک‌ها رشد کنند و استقرار یابند. الگوی کلی گونه‌های گچ دوست اختیاری نشان می‌دهد که این گونه‌ها دارای توانایی ذخیره کلسیم و سولفور زیاد در برگ را همانند گونه‌های گچ دوست اجباری ندارند و در عوض دارای مقادیر زیاد عناصر مغذی مانند پتانسیم، فسفر، نیتروژن و کربن هستند که با نتایج سایر مقالات در این زمینه مطابقت دارد (Merlo et al., 2019; Cera et al., 2023).

گونه‌های مورد مطالعه دارای الگوهای متفاوتی نتایج این پژوهش نشان داد که میزان طول و سطح ویژه برگ در دو گونه *S.platyrachis* و *P. spinosissima* بیشتر است که با نتایج سایر محققان که بیان کردند گونه‌هایی با سطح ویژه برگ و نسبت تولیدمثلی بالا، استفاده کارآمدتری از منابع دارند (Moravcova et al., 2010; Wang et al., 2018)، و در نهایت توانایی رقابتی بیشتری دارند (Perez-Ramos et al., 2019; Kraft et al., 2015) و تحمل به تنش زیادی دارند مطابقت دارد. همچنین این دو گونه سطح و طول برگ بزرگتری داشتند که برخی از جنبه‌های انرژی و تعادل آب کل گیاه را منعکس می‌کند، این یافته با سایر محققانی که بیان کردند گیاهان گچ دوست برگ‌های ریزتری دارند در تضاد است (Escudero et al., 2015). گونه *K.ceratoides* وزن خشک محتوای ماده خشک بالایی داشت با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق این گونه برگ‌های ریزی دارد؛ در نتیجه محتوای ماده خشک آن زیاد است که با خصوصیات تراکم بافت، مقاومت فیزیکی و مواد غذایی گیاه در ارتباط است. پیشنهاد می‌شود با توجه مطالعات کمی که در اکوسیستم‌های گچی در کشورانجام شده است در جهت حفاظت این رویشگاه‌های با ارزش اقدامات لازم انجام شود.

نتیجه‌گیری کلی

رویشگاه‌های گچی با توجه به شرایط منحصربه‌فرد خود پذیرای گونه‌های خاصی هستند که بتوانند در چنین

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

شرایطی رشد کنند. این رویشگاه‌ها دارای میزان کلسیم و سولفور زیادی هستند که گونه‌های گچ‌دوست اجباری با انباشت این عناصر در برگ‌های خود با شرایط محیطی سخت مقابله می‌کنند. علاوه بر آن گونه‌های گچ‌دوست اختیاری با افزایش مواد مغذی در برگ‌های خود به بقا در چنین شرایطی ادامه می‌دهند. با توجه به اهمیت این رویشگاه و مطالعات محدود در خاک‌های گچی ضرورت دارد که مطالعات بیشتری در رویشگاه‌های گچی در کشور انجام شود و با مطالعه گونه‌های بیشتری در این زمینه بتوان شناخت بیشتری از این سازگاری گیاهان گچ دوست به‌دست‌آورد. شناخت نحوه سازگاری گونه‌های گچ دوست مقدمه‌ای برای حفاظت از این گونه‌های ارزشمند است؛ زیرا استقرار این گونه‌ها در طبیعت به‌سختی صورت می‌گیرد و با توجه به محدود بودن رویشگاه‌های گچی تحت حفاظت در کشور ضرورت دارد که برنامه‌های حفاظتی در جهت حفاظت این گونه‌ها تدوین گردد.

منابع

افتخاری، ط.، اسدی، مصطفی.، محمودی، شهلا.، دادخواهی پور، کاظم. ۱۳۸۱. گیاهان رویشگاه گچی رباط سفید (استان خراسان). پژوهش و سازندگی، ۱۵:(۳)، ۸۱-۹۴.

ارزانی، ح.، عابدی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی مرتع: ممیزی و پایش. انتشارات دانشگاه تهران.۲۲۴ صفهه.

بهادری، ف.، ربیع زاده، ف. ۱۴۰۳. ویژگی های تشریحی، ریز ریخت شناسی و زیستگاهی گیاه اندمیک و در خطر انقراض نپتا گچی (*Nepeta eremokosmos* Rech. F). زیست شناسی کاربردی، ۱:(۳۷).

ربیع زاده، ف.، زارع مایوان، ح.، کاظم پور، ش. ۱۳۹۸. سازش پذیری تطبیقی بوم شناختی-تشریحی دو گونهٔ گون خاک های گچی. یافته های نوین در علوم زیستی، ۶:(۲)، ۲۵۳-۲۴۱.

ربیع زاده، ف.، نصرالهی، ف. ۱۴۰۱. مطالعهٔ تشریحی، ریزریخت‌شناختی و بوم‌شناختی گونهٔ *Acantholimon cymosum* (Plumbaginaceae)، انحصاری ایران. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۱۴:(۵۱)، ۵۱-۶۸.

Abedi, M., Omidipour, R., Bahalkeh, K., Hosseini, S. V., Gross, N. 2022. Fire disturbance effects on plant taxonomic and functional β-diversity mediated by topographic exposure. Ecology and Evolution, 12(1), 1–13.

Bahalkeh, K., Abedi, M., Palacio, S., Luzuriaga, A., Escudero, A. 2024. Changes in the biotic interactions of *Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljakov along the altitude gradient of gypsum ecosystems (case study: Semnan Province). Iranian Journal of Range and Desert Research, 31(3), 248–265.

Bartušková, A., Doležal, J., Janeček, Š., Lanta, V., Klimešová, J. 2015. Changes in biomass allocation in species rich meadow after abandonment: ecological strategy or allometry? Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 17(5):379–387.

Bolukbasi, A., Kurt, L., Palacio, S. 2016. Unravelling the mechanisms for plant survival on gypsum soils: an analysis of the chemical composition of gypsum plants from Turkey. Plant Biology, 18(2), pp.271-279.

Canadas, E. M., Ballesteros, M., Valle, F., Lorite, J. 2014. Does gypsum influence seed germination? Turkish Journal of Botany, 38(1): 141–147.

Casby-Horton S, Herrero J, Rolong N.A. 2015. Chapter four—gypsum soils—their morphology, classification, function, and landscapes .In: Sparks DL, ed. Advances in agronomy. Academic Press, 231-290.

Cera, A., Montserrat-Martí, G., Palacio, S. 2023. Nutritional strategy underlying plant specialization to gypsum soils. AoB Plants, 15(4): p.plad041.

Cody, M.L. 1978. Distribution ecology of haplopappus and chrysothamnus in the mojave desert. I. niche position and niche shifts on north-facing granitic slopes. American Journal of Botany, 5(10) 1107-1116. DOI 10.1002/j.1537-2197.1978.tb06178.x.

Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P.B., Ter Steege, H., Morgan, H.D., Van Der Heijden, M. G. A. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany, 51(4): 335–380.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

along fertility and disturbance gradients. New Phytologist, 196(2): 497–509.

Matinzadeh, Z., Akhani, H., Abedi, M., Palacio, S. 2019. The elemental composition of halophytes correlates with key morphological adaptations and taxonomic groups. Plant Physiology and Biochemistry, 141, pp.259-278.

McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. Trends Ecol. Evol, 21:178–185.

Meyer, S. E., García-Moya, E. 1989. Plant community patterns and soil moisture regime in gypsum grasslands of north central Mexico. Journal of Arid Environments, 16(2): 147–155.

Memariani, F. 2020. The Khorassan-Kopet Dagh Mountains. Plant biogeography and vegetation of high mountains of central and south-west Asia, 93-116.

Merlo, M.E., Garrido-Becerra, J.A., Mota, J.F., Salmerón-Sánchez, E., Martínez-Hernández, F., Mendoza-Fernández, A., Pérez-García, F.J. 2019. Threshold ionic contents for defining the nutritional strategies of gypsophile flora. Ecological Indicators, 97: pp.247-259.

Minden, V., Andratschke, S., Spalke, J., Timmermann, H., Kleyer, M. 2012. Plant trait–environment relationships in salt marshes: Deviations from predictions by ecological concepts. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 14(3): 183–192.

Moore M, Mota J, Douglas N, Flores-Olvera H, Ochoterena H. 2014. The ecology, assembly, and evolution of gypsophile floras. In: Rajakaruna N, Boyd RS, Harris TB, eds. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 97–128.

Moravcova, L., Pyšek, P., Jarošík, V., Havlíčková, V., Zákravský, P. 2010. Reproductive characteristics of neophytes in the Czech Republic: traits of invasive and non-invasive species. Preslia, 82(4): pp.365-390.

Mota, J. F., Garrido-Becerra, J. A., Merlo, M. E., Medina-Cazorla, J. M.,Sánchez-Gómez, P. 2017. The edaphism: gypsum, dolomite

Escudero, A., Palacio, S., Maestre, F. T., Luzuriaga, A. L. 2015. Plant life on gypsum: a review of its multiple facets. Biological Reviews, 90(1): 1–18.

Kattge, J., Bönisch, G., Díaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Tautenhahn, S., Werner, G. D. A., Aakala, T., Abedi, M., et al. 2020. TRY plant trait database – Enhanced coverage and open access. Global Change Biology, 26(1), 119–188.

Kraft, N.J., Godoy, O., Levine, J.M. 2015. Plant functional traits and the multidimensional nature of species coexistence. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(3): pp.797-802.

Eswaran, H., Gong, Z.-T. 1991. Properties, genesis, classification, and distribution of soils with gypsum. Occurrence, Characteristics, and Genesis of Carbonate, Gypsum, and Silica Accumulations in Soils, (occurrencechara): 89–119.

Garnier, E., Navas, M.-L. 2012. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. Agronomy for Sustainable Development, 32(2): 365–399.

Gross, N., Maestre, F. T., Liancourt, P., Berdugo, M., Martin, R., Gozalo, B., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., Maire, V., Saiz, H. et al. 2024. Unforeseen plant phenotypic diversity in a dry and grazed world. Nature, 632(8026), 808–814.

Jalali, M., Abedi, M., Tabarsa, M., & Moreno, D. A. 2024. Morphological and biochemical characteristics of wild red-fleshed apples (*Malus sieversii* f. niedzwetzkyana) in the North and Northeast of Iran. BMC Plant Biology, 24(1), 899.

Liu, Y., Zheng, C., Su, X., Chen, J., Li, X., Sun, C., Nizamani, M.M. 2024. Comparative analysis and characterization of the chloroplast genome of Krascheninnikovia ceratoides (Amarathaceae): a xerophytic semi-shrub exhibiting drought resistance and high-quality traits. BMC Genomic Data, 25(1): p.10.

Maire, V., Gross, N., Börger, L., Proulx, R., Wirth, C., Pontes, L. da S., Soussana, J.F., Louault, F. 2012. Habitat filtering and niche differentiation jointly explain species relative abundance within grassland communities

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

Evaluating the land use potential of gypsiferous soils from field pedogenic characteristics. Soil Use and Management, 13(2): 97–103.

Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5): 882–892.

Wang, D., Liu, S., Warrell, J., Won, H., Shi, X., Navarro, F.C., Clarke, D., Gu, M., Emani, P., Yang, Y.T. Xu, M. 2018. Comprehensive functional genomic resource and integrative model for the human brain. Science, 362(6420): p.eaat8464.

Yousefi, E., Abedi, M., Aghajanzadeh, T. A., et al. 2025. Caper bush (Capparis spinosa L.) bioactive compounds and antioxidant capacity as affected by adaptation to harsh soils. Scientific Reports, 15, 11893.

and serpentine flora and vegetation. In The Vegetation of the Iberian Peninsula (pp. 277–354). Springer.

Muller, C.T., Moore, M.J., Feder, Z., Tiley, H., Drenovsky, R.E. 2017. Phylogenetic patterns of foliar mineral nutrient accumulation among gypsophiles and their relatives in the Chihuahuan Desert. American Journal of Botany, 104(10): pp.1442-1450.

Palacio, S., Escudero, A., Montserrat-Martí, G., Maestro, M., Milla, R., Albert, M. J. 2007. Plants living on gypsum: beyond the specialist model. Annals of Botany, 99(2): 333–343.

Palacio, S., Aitkenhead, M., Escudero, A., Montserrat-Martí, G., Maestro, M., Robertson, A.J. 2014. Gypsophile chemistry unveiled: Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy provides new insight into plant adaptations to gypsum soils. PLoS One, 9(9): p.e107285.

Perez-Garcia, F., Akhani, H., Parsons, R., Silcock, J., Kurt, L., Ozdeniz, E., Spampinato, G., Musarella, C., Salmeron-Sanchez, E., Sola, F., Merlo, M. 2018. A first inventory of gypsum flora in the Palearctic and Australia. Mediterranean Botany 39(1)

Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., M. S. Bret-Harte., Cornwell, W.K., Craine, J. M., Gurvich, D. E. 2016. Corrigendum to: new handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany, 64(8): 715–716.

Perez-Ramos, I.M., Matías, L., Gómez Aparicio, L., Godoy, Ó. 2019. Functional traits and phenotypic plasticity modulate species coexistence across contrasting environments. bioRxiv, p.539619.

Robson, T., Stevens, J., Dixon, K., Reid, N. 2017. Sulfur accumulation in gypsum-forming thiophores has its roots firmly in calcium. Environmental and Experimental Botany, 137:pp.208-219.

Ruiz, J.M., López-Cantarero, I., Rivero, R.M., Romero, L. 2003. Sulphur phyto accumulation in plant species characteristic of gypsiferous soils. International Journal of Phytoremediation, 5(3), pp.203-210.

Verheye, W. H., Boyadgiev, T. G. 1997.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]