IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology
بوم‌شناسی کاربردی/ سال چهاردهم / شماره چهارم / ۱٤۰٤/ صفحات ۳۱ تا ٤۲

# تحلیل روابط بین عوامل محیطی و پراکنش گونه دارویی باریجه (*Ferula gummosa*) با استفاده از روش‌های چندمتغیره (TWINSPAN و PCA) در حوضه آبخیز طالقان

مجتبی اخوان ارمکی[۱*]، ملیکا هاشمی[۱] و محمدرضا شاکری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۵/۰۱/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۵/۰۳/۰٤)

## چکیده

رشد و استقرار گونه‌های گیاهی به شرایط محیطی و ویژگی‌های بوم‌شناختی رویشگاه وابسته است. این پژوهش با هدف بررسی روابط بین عوامل محیطی و پراکنش گونه دارویی *Ferula gummosa* در مراتع حوضه آبخیز طالقان استان البرز انجام شد. نمونه‌برداری پوشش گیاهی در ٤۰ پلات واقع در امتداد ٤ ترانسکت ۱۰۰ متری و هم‌زمان نمونه‌برداری خاک انجام گرفت. برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی از روش TWINSPAN و برای تعیین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتفاع، شیب، ماده آلی، نیتروژن، میزان آهک و بافت خاک مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش این گونه هستند. تیپ گیاهی *Agropyron intermedium* با ارتفاع حدود ۲٤۰۰ متر، شیب ۳۵ درصد، ماده آلی ۸/۲ درصد، نیتروژن ۲۵/۰ درصد و بافت لوم شنی، مناسب‌ترین شرایط رویشی را فراهم کرد، در حالی که تیپ *Sophora alopecuroides–Astragalus paralogues* دارای نامناسب‌ترین شرایط بود. بیشترین تولید و استقرار باریجه در ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، شیب ۲۰ تا ٤۰ درصد و خاک‌های حاصلخیز با بافت لوم شنی، ماده آلی و نیتروژن بالا و آهک کمتر مشاهده شد. این نتایج می‌تواند در شناسایی رویشگاه‌های مناسب و مدیریت پایدار این گونه ارزشمند کاربرد داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** *Ferula gummosa*، عوامل محیطی، گیاه‌جامعه‌شناسی، تحلیل چندمتغیره

۱ – دانش‌آموختگان دکتری علوم مرتع، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mtakhavan@ut.ac.ir

## مقدمه

ایران به‌دلیل تنوع گسترده اقلیمی، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک، از ظرفیت بالایی برای استقرار و پراکنش گونه‌های مختلف گیاهی، به‌ویژه گونه‌های دارویی و مرتعی، برخوردار است. پراکنش و استقرار گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های طبیعی تحت تأثیر برهم‌کنش پیچیده‌ای از عوامل محیطی، توپوگرافی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قرار دارد (۳ و ٤). در واقع، ساختار و ترکیب جوامع گیاهی در هر رویشگاه بازتابی از دامنه تحمل اکولوژیک گونه‌ها در برابر متغیرهایی نظیر ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه، اقلیم محلی و ویژگی‌های خاک است (۳ و ۱۹). شناخت روابط میان پوشش گیاهی و عوامل محیطی، یکی از پیش‌نیازهای اصلی در مدیریت پایدار مراتع، احیای رویشگاه‌های تخریب‌شده و انتخاب گونه‌های مناسب برای برنامه‌های اصلاح و بازسازی اکوسیستم است (۵ و ۱۵). در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های تحلیل چندمتغیره در مطالعات بوم‌شناسی پوشش گیاهی، امکان بررسی دقیق‌تر روابط بین گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی را فراهم کرده است. روش‌هایی مانند TWINSPAN و PCA به‌طور گسترده برای طبقه‌بندی جوامع گیاهی، شناسایی گرادیان‌های محیطی و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۹، ۱۸ و ۲٤). این روش‌ها نقش مهمی در شناسایی رویشگاه‌های مستعد و تدوین برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی دارند. گونه دارویی *Ferula gummosa* از خانواده Apiaceae یکی از گونه‌های دارویی ارزشمند ایران است که به دلیل تولید ترکیبات رزینی و اسانس‌های صنعتی و دارویی، اهمیت اقتصادی و اکولوژیک فراوانی دارد. این گونه عمدتاً در مناطق کوهستانی و نیمه‌خشک ایران پراکنش داشته و استقرار آن به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی و ویژگی‌های خاک قرار دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که عواملی نظیر ارتفاع، شیب، بافت خاک، ماده آلی، نیتروژن و میزان آهک خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در پراکنش و تولید گونه‌های جنس Ferula دارند (۱، ۱۳ و ۱۷).

برای مثال، نتایج پژوهش احمدی و همکاران (۲) نشان داد که افزایش ارتفاع و ماده آلی خاک موجب بهبود استقرار گونه‌های دارویی مرتعی در مناطق کوهستانی می‌شود. همچنین حسینی و همکاران (۱۳) گزارش کردند که پراکنش گونه‌های جنس Ferula ارتباط معنی‌داری با شیب، عمق خاک و میزان آهک دارد. در مطالعه‌ای دیگر، رضایی و همکاران (۲۱) بیان کردند که تغییرات توپوگرافی و ویژگی‌های خاک از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده ساختار پوشش گیاهی در مراتع نیمه‌خشک ایران هستند.

مراتع حوضه آبخیز طالقان از جمله رویشگاه‌های مهم گونه *F. gummosa* در البرز مرکزی محسوب می‌شوند که این گونه در برخی بخش‌های آن به‌عنوان یکی از گونه‌های شاخص منطقه حضور دارد. با وجود اهمیت اکولوژیک و اقتصادی این گونه، اطلاعات دقیقی درباره مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش و استقرار آن در این رویشگاه‌ها محدود است. این موضوع در شرایط کنونی که حفاظت از گونه‌های دارویی و بهره‌برداری پایدار از رویشگاه‌های طبیعی اهمیت بیشتری یافته، ضرورت انجام چنین پژوهش‌هایی را دوچندان می‌کند (۱۱).

ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف تحلیل روابط بین عوامل محیطی و پراکنش گونه دارویی *F. gummosa* در حوضه آبخیز طالقان انجام شد. تمرکز اصلی این مطالعه بر شناسایی مهم‌ترین متغیرهای توپوگرافی و خاکی مؤثر بر پراکنش این گونه و تعیین مناسب‌ترین شرایط رویشگاهی برای استقرار و تولید مطلوب آن است. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی علمی برای مدیریت مرتع، حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی و برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری پایدار و احیای این گونه ارزشمند دارویی فراهم کند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوزه آبخیز طالقان (شمال غربی

استان البرز) در بخش میانی حوزه با وسعت ٥٤٦٠/٦٥ هکتار و با موقعیت جغرافیایی "٢٨ '٤٥ °٥٠ تا "٨٧ '٤٨ °٥٠ طول شرقی و "١٧ '١٥ °٣٦ تا "٧ '١٠ °٣٦ عرض شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا ٤٠٠٠ متر و حداقل آن ١٨٠٠متر است. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه های طالقان در یک دوره ٣٠ ساله، متوسط بارندگی ٥٨٠ میلی متر در سال است و اقلیم آن بر اساس روش آمبرژه نیمه مرطوب سرد است (١٨).

**طرح نمونه‌برداری پوشش گیاهی**

پس از بازدید اولیه از منطقه و تعیین محدوده مطالعه، نمونه‌برداری پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های متداول بوم‌شناسی پوشش گیاهی انجام شد. اندازه پلات و تعداد نمونه‌ها بر اساس روش حداقل سطح (Minimum Area) و رویه‌های استاندارد مطالعات پوشش گیاهی تعیین گردید. در مجموع ٤٠ پلات در امتداد چهار ترانسکت ١٠٠ متری در منطقه مستقر شد .در هر پلات، اطلاعات مربوط به فهرست فلوریستیک گونه‌ها، درصد پوشش تاجی گیاهان، تعداد افراد گیاهی، درصد لاشبرگ، درصد خاک عریان و درصد سنگ و ریگ سطحی ثبت گردید. این متغیرها از جمله شاخص‌های مهم در ارزیابی ساختار پوشش گیاهی و وضعیت اکولوژیک رویشگاه محسوب می‌شوند و در بسیاری از مطالعات بوم‌شناسی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (١٤، ٢٠).

**اندازه‌گیری ویژگی‌های گونه مورد مطالعه**

به‌منظور بررسی ویژگی‌های کمی و ساختاری گونه *F gummosa*، در هر پلات صفاتی شامل ارتفاع گیاه، تراکم، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین قطر تاج پوشش و حجم بوته اندازه‌گیری شد. این ویژگی‌ها برای ارزیابی وضعیت رشد، استقرار و پاسخ گونه به شرایط محیطی مورد استفاده قرار گرفتند (١٩).

**نمونه‌برداری و تجزیه خاک**

به‌منظور بررسی ویژگی‌های خاک و ارتباط آن با پراکنش گونه مورد مطالعه، نمونه‌برداری خاک در امتداد ترانسکت‌ها و در مجاورت پلات‌های نمونه‌برداری انجام شد. با توجه به یکنواختی نسبی واحدهای فیزیوگرافی و پوشش گیاهی در هر ترانسکت، از هر پنج پلات یک نمونه خاک مرکب تهیه گردید؛ به‌طوری‌که در مجموع هشت نمونه خاک از عمق ٠ تا ٣٠ سانتی‌متری برداشت شد (٢٤).

در محل هر نمونه، مشخصات محیطی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه و مختصات جغرافیایی ثبت گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، در دمای محیط خشک و سپس از الک ٢ میلی‌متری عبور داده شدند. پس از آماده‌سازی، ویژگی‌های مختلف خاک شامل بافت خاک، درصد سنگریزه، درصد آهک، ماده آلی، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری شد (٣ و ٤). با توجه به محدود بودن گستره مکانی منطقه مورد مطالعه و یکنواختی نسبی شرایط اقلیمی در محدوده بررسی، متغیرهای اقلیمی نظیر دما و بارش وارد تحلیل چندمتغیره نشدند. در این پژوهش تمرکز اصلی بر متغیرهای توپوگرافی و خصوصیات خاک به‌عنوان عوامل مؤثر در مقیاس محلی بر پراکنش گونه مورد مطالعه بود.

**تحلیل داده‌ها**

برای تجزیه و تحلیل داده‌های فلوریستیک از نرم‌افزار PC-ORD نسخه ٤.١٧ استفاده شد. به منظور طبقه‌بندی اجتماعات گیاهی و تعیین گروه‌های اکولوژیک گونه‌ها، از روش تحلیل شاخص گونه‌ای دوطرفه (TWINSPAN) بهره گرفته شد که یکی از روش‌های متداول در مطالعات طبقه‌بندی پوشش گیاهی محسوب می‌شود (١٤).

در مرحله نخست، برای شناسایی گرادیان‌های اصلی ترکیب گونه‌ای از روش تحلیل تطابق بدون روند (DCA) استفاده شد. با این حال، به دلیل کوتاه بودن طول گرادیان محیطی (٠/٢٣٧)،

جدول ۱. ترکیب گونه‌ای تیپ‌های گیاهی

| تیپ گیاهی | پوشش (درصد) | ترکیب گیاهی (درصد) |
|---|---|---|
| *Ag .intermedium* | ٦/۳۸ | ۱۲/۹٦ |
| *Ag. intermedium-As. gossypinus* | ۲ | ۷/۳۸ |
| *As.gossypinus- F. gummosa* | ٤/٥٤ | ۱۹/۳۲ |
| *Br. dantoniae* | ۳/۷٥ | ۱۰/۳٦ |
| *S. alopecuroides-As. paralogues* | ۳/۳۰ | ۱۰/۹۰ |

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی الگوی کلی متغیرهای محیطی و ارتباط آن‌ها با جوامع گیاهی به کار گرفته شد. در این تحلیل، پراکنش اجتماعات گیاهی در ارتباط با ویژگی‌های خاک و سایر عوامل محیطی در قالب محورهای مختصات ترسیم و تفسیر گردید (۱٦، ۲۱). به‌منظور مقایسه صفات کمی گونه در تیپ‌های مختلف گیاهی، تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ٥ درصد مقایسه شدند. اگرچه طول گرادیان محیطی کوتاه (۰/۲۳۷) به دست آمده از روش DCA، کاربرد مدل‌های خطی نظیر PCA و RDA را توجیه می‌کند، اما در این پژوهش از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به عنوان یک روش تحلیل بدون قید (Unconstrained) استفاده شد. هدف اصلی از کاربرد PCA، شناسایی الگوهای ذاتی و طبیعی تغییرات در داده‌های پوشش گیاهی و نمایش گرادیان‌های محیطی به صورت اکتشافی بود، بدون اینکه فرض پیشینی درباره برازش مدل خطی بر روی متغیرهای محیطی وجود داشته باشد. در این روش، متغیرهای محیطی پس از استخراج محورهای اصلی، به عنوان بردارهای کمکی بر نمودار پراکنش تیپ‌های گیاهی برازش داده شدند.

## نتایج

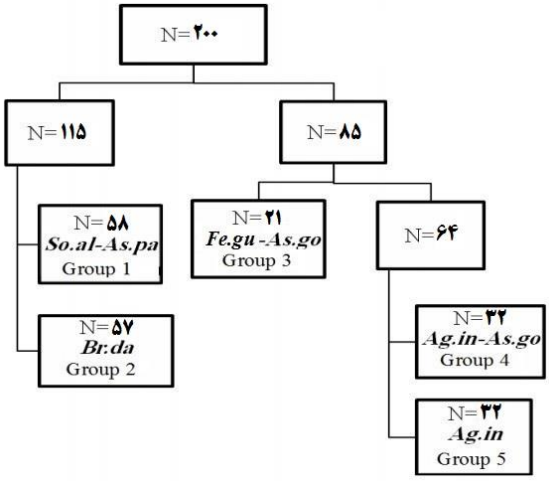
### طبقه‌بندی جوامع گیاهی با روش TWINSPAN

نتایج طبقه‌بندی پوشش گیاهی منطقه با استفاده از روش TWINSPAN نشان داد که جوامع گیاهی در منطقه مورد مطالعه در پنج تیپ گیاهی متمایز قابل تفکیک هستند. این تیپ‌ها شامل *Sophora alopecuroides – Astragalus paralogues*، *B.dantoniae*، *As.gossypinus –F.gummosa*، *Ag.intermedium* و *Ag.intermedium – As.gossypinus* بودند. ساختار و ترکیب گونه‌ای این تیپ‌ها نشان‌دهنده وجود گرادیان‌های محیطی مؤثر در شکل‌گیری پوشش گیاهی منطقه است. نتایج طبقه‌بندی و ترکیب گونه‌ای تیپ‌های گیاهی به همراه میزان حضور گونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین نحوه تفکیک و روابط بین تیپ‌های گیاهی در نمودار طبقه‌بندی حاصل از روش TWINSPAN در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی این نتایج نشان داد که میزان حضور باریجه در تیپ‌های مختلف متفاوت است و بیشترین سهم آن در تیپ *As. gossypinus – F. gummosa* مشاهده می‌شود.

### تحلیل مؤلفه‌های اصلی(PCA)

به منظور بررسی ارتباط بین تیپ‌های گیاهی و عوامل محیطی، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نتایج نشان داد که مؤلفه اول ٤۸/۱۱ درصد و مؤلفه دوم ۲۷/۹۰ درصد از کل تغییرات داده‌ها را تبیین می‌کنند و در مجموع ۷٦/۰۱ درصد از واریانس کل توسط این دو مؤلفه توضیح داده می‌شود. مقادیر ویژه، درصد واریانس تبیین شده و ضرایب متغیرهای محیطی در محورهای اصلی در جدول ۲ ارائه شده است.

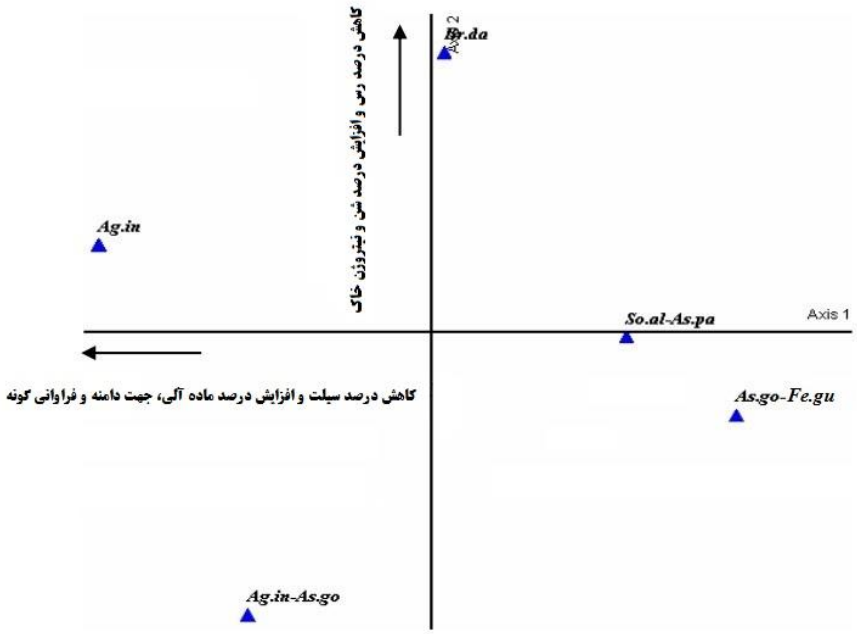
نمودار پراکنش تیپ‌های گیاهی و بردار عوامل محیطی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن بود که متغیرهای




**شکل ۱. نمودار طبقه‌بندی انواع پوشش گیاهی بر اساس روش TWINSPAN**

**جدول ۲. واریانس تبیین شده توسط محورهای PCA**

| محور | مقادیر ویژه | واریانس (درصد) | واریانس تجمعی (درصد) | مقادیر ویژه مدل Broken–Stick |
|---|---|---|---|---|
| PCA1 | ۷/۲۱۶ | ٤۸/۱۰۷ | ٤۸/۱۰۷ | ۳/۳۱۸ |
| PCA2 | ٤/۱۸۵ | ۲۷/۸۹۹ | ۷٦/۰۰٦ | ۲/۳۱۸ |
| PCA3 | ۱/۹۲۱ | ۱۲/۸۰۸ | ۸۸/۸۱٤ | ۱/۸۱۸ |
| PCA4 | ۱/٦۷۸ | ۱۱/۱۸٦ | ۱۰۰ | ۱/٤۸۵ |




**شکل ۲. نمودار پراکنش رویشگاه‌های علفزار در ارتباط با عوامل محیطی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تحلیل PCA**

جدول ۳. میانگین ویژگی های محیطی و خاکی در تیپ های گیاهی مختلف

| تیپ گیاهی | ارتفاع (متر) | شیب (درصد) | ماده آلی (درصد) | آهک (درصد) | نیتروژن (درصد) | شن (درصد) | رس (درصد) | سیلت (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Ag. intermedium* | ۲٤۸۰ | ۳۸ | ۲/۱۰ | ۱٤/٥ | ۰/۱۹ | ۳۸ | ۲٤ | ۳۸ |
| *Ag. intermedium-As. gossypinus* | ۲۳۲۰ | ۳۲ | ۱/۳٥ | ۲٤/۸ | ۰/۱۱ | ٤٦ | ۲۰ | ۳٤ |
| *As. gossypinus-F. gummosa* | ۲٤۱۰ | ۲۷ | ۱/۷٥ | ۱۸/۹ | ۰/۱٦ | ٤۱ | ۲۲ | ۳۷ |
| *Br. dantoniae* | ۲۱۹۰ | ۲٤ | ۱/۲۸ | ۲۱/٤ | ۰/۱۳ | ٥۲ | ۱٦ | ۳۲ |
| *S. alopecuroides-As. paralogues* | ۲۱٤۰ | ۲۰ | ۱/۱۰ | ۲٦/۲ | ۰/۰۹ | ٤۸ | ۱۸ | ۳٤ |

ارتفاع، شیب، ماده آلی و سیلت دارای همبستگی مثبت با محور اول بودند، در حالی که درصد آهک و شن در جهت مخالف این محور قرار گرفتند. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع و شیب همراه با افزایش ماده آلی خاک، شرایط مناسب‌تری برای استقرار گونه *F. gummosa* فراهم کرده است، در حالی که افزایش میزان آهک و درصد شن تأثیر منفی بر حضور گونه داشته است.

همچنین محور دوم بیشتر تحت تأثیر متغیرهای رس، نیتروژن و فسفر قرار داشت که نشان‌دهنده نقش حاصلخیزی خاک در تفکیک تیپ‌های گیاهی منطقه است.

بر اساس جهت و طول بردارهای محیطی در نمودار PCA، متغیرهای ارتفاع، شیب، ماده آلی و نیتروژن مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه در منطقه بودند؛ در حالی که افزایش آهک و بافت سبک خاک با کاهش تراکم و پوشش گونه همراه بود.

## ویژگی‌های رویشگاهی تیپ‌های گیاهی

بررسی میانگین ویژگی‌های محیطی و خاکی نشان داد که تیپ *Ag. intermedium* عمدتاً در ارتفاعات بالاتر، شیب متوسط تا زیاد و خاک‌های دارای ماده آلی و نیتروژن بیشتر استقرار یافته است. این تیپ همچنین دارای کمترین میزان آهک بود که با بیشترین پوشش و تراکم گونه *F. gummosa* همراه بود. در مقابل، تیپ *Ag. intermedium – As. gossypinus* در خاک‌های دارای آهک بیشتر و ماده آلی کمتر مشاهده شد و کمترین میزان پوشش گونه مورد مطالعه را نشان داد.

تیپ *Br. dantoniae* عمدتاً در خاک‌های دارای درصد شن بیشتر و رس کمتر استقرار داشت که نشان‌دهنده تأثیر بافت خاک بر ترکیب گونه‌ای منطقه است. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات توپوگرافی و خصوصیات خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در تفکیک تیپ‌های گیاهی و پراکنش گونه *F. gummosa* دارند (جدول ۳).

## مقایسه صفات کمی گونه باریجه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بیشتر صفات کمی گونه شامل درصد پوشش، تراکم، قطر تاج، حجم بوته و ارتفاع گیاه در بین تیپ‌های گیاهی اختلاف معنی‌داری داشتند، در حالی که فاصله بین بوته‌ها اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ٤).

بیشترین مقدار صفات کمی مربوط به تیپ *Ag. intermedium* بود که بیانگر مناسب بودن شرایط اکولوژیک این تیپ برای رشد و استقرار گونه است. در مقابل، تیپ *Ag. intermedium – As. gossypinus* کمترین مقدار پوشش و تراکم را نشان داد.

نتایج مقادیر بردار ویژه متغیرهای محیطی نشان داد که محور اول PCA بیشتر تحت تأثیر متغیرهای pH ، شیب، ارتفاع و ماده آلی قرار داشت. همبستگی مثبت ارتفاع و شیب با محور اول نشان می‌دهد که تغییرات توپوگرافی نقش مهمی در تفکیک تیپ‌های گیاهی منطقه دارند. همچنین همبستگی منفی ماده آلی و شن با این محور بیانگر تأثیر شرایط حاصلخیزی خاک و

جدول ٤. مقایسه صفات کمی *F. gummosa* در تیپ‌های گیاهی مختلف

| تیپ گیاهی | پوشش (درصد) | تراکم (مترمربع) | حداقل قطر (سانتی متر) | حداکثر قطر (سانتی متر) | حجم (سانتی متر مکعب) | ارتفاع (سانتی متر) | فاصله بین بوته‌ها (سانتی متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Ag. intermedium* | ٦/٣٨$^{a}$ | ٢/٩٢$^{a}$ | ٩/٣٠$^{a}$ | ٢٤/٥٠$^{a}$ | ٢٤٥٣/٢٠ | ١١/٤٠$^{a}$ | ٢٢/٥٠ |
| *Ag. intermedium-As.g ossypinus* | ٢/٠٠$^{c}$ | ٠/٩٢$^{b}$ | ٧/٠٠$^{b}$ | ٢٢/٣٥$^{ab}$ | ١٥٧٨ | ١١/١٠$^{a}$ | ٣٩/٥٠ |
| *As. gossypinus-Fe. gummosa* | ٤/٥٤$^{ab}$ | ٢/٢٣$^{ab}$ | ٤/٨٠$^{b}$ | ١٦/٦٠$^{c}$ | ٢٩١/٨٠ | ٦/٧٠$^{c}$ | ٢٢/٧٠ |
| *Br .dantoniae* | ٣/٧٥$^{ab}$ | ٢/٢٠$^{ab}$ | ٥/٥٠$^{b}$ | ١٨/٩٠$^{bc}$ | ٧٥٠/٥٧ | ٩/٢٠$^{b}$ | ٢٧/٥٠ |
| *S .alopecuroides -As. paralogues* | ٣/٣٠$^{ab}$ | ١/٧٥$^{ab}$ | ٥/١٠$^{b}$ | ٢٠/٩٠$^{abc}$ | ٤٧٩/٤٣ | ٨/٠٠$^{b}$ | ٣٥/٨٠ |
| آماره F | ٢/٤٩$^{*}$ | ٢/٨٧$^{*}$ | ٦/٤٨$^{**}$ | ٢/٩٤$^{*}$ | ٣/٢٣$^{*}$ | ١٨/٥٦$^{**}$ | ١/٣٩$^{ns}$ |

* و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف در سطوح احتمال ٥ درصد و ١ درصد می‌باشند.

ns در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بافت خاک بر پراکنش گونه *F. gummosa* است. محور دوم بیشتر با متغیرهای رس و سیلت ارتباط داشت و نشان‌دهنده نقش ویژگی‌های بافت خاک در تغییرات پوشش گیاهی منطقه بود. همچنین حضور نیتروژن در محور سوم نشان داد که حاصلخیزی خاک و فراهمی عناصر غذایی در استقرار گونه مورد مطالعه اهمیت قابل توجهی دارد (جدول ٥).

به‌طور کلی، نتایج تحلیل PCA نشان داد که متغیرهای توپوگرافی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه *F. gummosa* در منطقه مورد مطالعه هستند. این نتایج نشان می‌دهد که گونه مورد مطالعه بیشتر در ارتفاعات بالاتر، شیب‌های نسبتاً زیاد و خاک‌های دارای ماده آلی بیشتر و آهک کمتر استقرار یافته است.

## بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که پراکنش و ساختار جمعیتی گونه دارویی باریجه در حوضه آبخیز طالقان به طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه ویژگی‌های توپوگرافی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قرار دارد. طبقه‌بندی پوشش گیاهی با استفاده از روش TWINSPAN منجر به تفکیک جوامع گیاهی منطقه به پنج تیپ گیاهی مجزا شد (شکل ١ و جدول ١). این تیپ‌ها نشان‌دهنده وجود گرادیان‌های محیطی در منطقه هستند که باعث تغییر در ترکیب و فراوانی گونه‌های گیاهی شده‌اند. مطالعات بوم‌شناسی پوشش گیاهی نشان می‌دهد که طبقه‌بندی عددی می‌تواند ابزار مناسبی برای شناسایی الگوهای پراکنش گونه‌ها و ارتباط آن‌ها با شرایط محیطی باشد (١٢ و ١٤).

نتایج تحلیل PCA نیز نشان داد که متغیرهای محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای در تفکیک تیپ‌های گیاهی دارند. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ٢ و جدول ٢، محور اول عمدتاً با متغیرهایی مانند ارتفاع، شیب، ماده آلی خاک، آهک و سیلت مرتبط بود، در حالی که محور دوم بیشتر تحت تأثیر بافت خاک (رس و شن) و میزان نیتروژن قرار داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات توپوگرافی و ویژگی‌های خاک از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده ساختار پوشش گیاهی در منطقه هستند. بسیاری از پژوهش‌ها نیز نشان داده‌اند که عوامل محیطی از طریق تأثیر بر

**جدول ۵. مقادیر بردار ویژه متغیرها در هر محور در تحلیل PCA**

| متغیر | بردار ویژه | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PCA 1 | PCA 2 | PCA 3 | PCA 4 |
| سیلت (درصد) | **۰/۳۵۳۲** | ۰/۰۳٦۳ | −۰/۱۵۹۸ | ۰/۱٦٤۲ |
| کربنات کلسیم (درصد) | **۰/۳۳۱۹** | ۰/۲۰۸۰ | −۰/۱۱۰۳ | ۰/۰۱۵۰ |
| ماده آلی (درصد) | **−۰/۳۲۰۸** | ۰/۱۷۰۷ | −۰/۱۲۲۷ | −۰/۲۵۲۱ |
| شیب (درصد) | **−۰/۳۳۷٤** | −۰/۱۱۳۹ | −۰/۰۳۱۷ | ۰/۲۷۰۰ |
| pH | **۰/۳٦۰۲** | ۰/۰۱۸۰ | −۰/۱۰۹٦ | ۰/۱۵۳۲ |
| ارتفاع (متر) | **−۰/۲۹۷٦** | −۰/۲٦۰۳ | ۰/۱۲۰۳ | ۰/۱۷۱۸ |
| شن (درصد) | −۰/۲٤٦٦ | **۰/۳۳۱۰** | −۰/۰۲٦۷ | −۰/۲٤۵۷ |
| رس (درصد) | −۰/۰۳۷۸ | **−۰/٤۵۸۹** | ۰/۱۹۳٦ | ۰/۱٤۷۰ |
| نیتروژن (درصد) | −۰/۲۹۵٦ | **۰/۲۹٦۱** | −۰/۰۳۱۹ | ۰/۰۲۱۵ |
| فسفر (ppm) | −۰/۰۵۵۱ | ۰/۲۱۵۵ | **۰/۵۷۱٦** | ۰/۳۰۵۰ |
| عمق (سانتی متر) | ۰/۰۷۰٦ | ۰/۰۹٦۵ | **۰/٦۸٤۹** | −۰/۱۱۹٦ |
| سنگریزه (درصد) | −۰/۱۹۳۳ | −۰/۲۸٤۰ | −۰/۲۲٤۷ | **۰/٤۱۹۸** |
| هدایت الکتریکی (EC) | −۰/۰۷۸۷ | ۰/۲۸۲۵ | −۰/۱۵۳۱ | **۰/٤۳۰۷** |
| پتاسیم (ppm) | −۰/۲۱۵۳ | ۰/۲۹۳۰ | −۰/۰۵٤۳ | **۰/٤۲۳۳** |
| جهت دامنه | ۰/۲۸۷۲ | ۰/۱۷۲۰ | −۰/۱۵۹۸ | **۰/۳۹۸۰** |

* ضرایبِ پررنگ و زیرخط‌دار دارای همبستگی معنی‌دار با محورهای مربوطه هستند.

رطوبت خاک، تهویه، دما و فراهمی عناصر غذایی، الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی را تعیین می‌کنند (۲ و ۱٦). یکی از عوامل مهم مؤثر در پراکنش گونه مورد مطالعه ارتفاع از سطح دریا بود. تغییرات ارتفاعی معمولاً با تغییر در شرایط اقلیمی مانند دما و بارش همراه است و این تغییرات می‌تواند بر ترکیب و تنوع گونه‌های گیاهی تأثیر قابل توجهی داشته باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که گونه *F. gummosa* در ارتفاعات میانی منطقه از تراکم و پوشش بیشتری برخوردار است. این یافته با نتایج مطالعات انجام شده در اکوسیستم‌های کوهستانی ایران همخوانی دارد که نشان می‌دهد بسیاری از گونه‌های مرتعی در محدوده‌های ارتفاعی خاصی از بیشترین سازگاری برخوردارند (۸ و ۱۷).

شیب زمین نیز یکی از عوامل مهم مؤثر بر پراکنش پوشش گیاهی در منطقه بود. شیب می‌تواند از طریق تأثیر بر فرسایش خاک، توزیع رطوبت و تجمع مواد آلی شرایط متفاوتی برای استقرار گونه‌های گیاهی ایجاد کند. نتایج این پژوهش نشان داد که برخی از تیپ‌های گیاهی در شیب‌های بیشتر شکل گرفته‌اند و این عامل در کنار سایر ویژگی‌های محیطی در تفکیک تیپ‌های گیاهی نقش داشته است. در مطالعات انجام شده در مراتع ایران نیز گزارش شده است که شیب و جهت دامنه از

مهم‌ترین عوامل توپوگرافی مؤثر بر ترکیب گونه‌ای و ساختار جوامع گیاهی هستند (۱۲ و ۲۱).

از میان ویژگی‌های خاک، ماده آلی خاک نقش مهمی در رشد و توسعه گیاهان دارد. افزایش ماده آلی معمولاً باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و افزایش فعالیت‌های میکروبی می‌شود که در نهایت شرایط مناسب‌تری برای رشد گیاه فراهم می‌کند. در این پژوهش نیز مشاهده شد که در تیپ‌های گیاهی دارای ماده آلی بیشتر، پوشش و تراکم گونه مورد مطالعه افزایش یافته است. نتایج مشابهی در مطالعات مربوط به بوم‌شناسی گیاهان دارویی گزارش شده است (٤، ۱۱ و ۱۵).

بافت خاک نیز یکی از عوامل مهم در پراکنش گونه‌های گیاهی به شمار می‌رود. خاک‌هایی با بافت سبک‌تر و زهکشی مناسب معمولاً شرایط مطلوب‌تری برای رشد بسیاری از گونه‌های گیاهی فراهم می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان داد که در برخی از تیپ‌های گیاهی افزایش درصد شن و کاهش مقدار رس با افزایش استقرار گونه مورد مطالعه همراه بوده است. این موضوع می‌تواند ناشی از بهبود تهویه خاک و افزایش نفوذپذیری آب در چنین خاک‌هایی باشد. پژوهش‌های انجام شده در مراتع ایران نیز نشان داده‌اند که بافت خاک تأثیر قابل توجهی بر استقرار و پراکنش گونه‌های گیاهی دارد (۲ و ۲۳). Piry Sahragard و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعه خود در همان حوضه آبخیز طالقان گزارش کردند که بافت لوم شنی با زهکشی مناسب، یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده حضور گونه‌های مرتعی با ارزش علوفه‌ای و دارویی است که با نتایج مطالعه حاضر مبنی بر استقرار بهتر باریجه در خاک‌های با بافت لوم شنی همسو می‌باشد (۲۰).

از سوی دیگر، میزان آهک خاک نیز بر پراکنش گونه تأثیرگذار بود. افزایش آهک می‌تواند موجب تغییر در واکنش خاک و کاهش فراهمی برخی عناصر غذایی شود و در نتیجه رشد برخی گونه‌های گیاهی را محدود کند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که در رویشگاه‌هایی با مقدار آهک کمتر، پوشش و تراکم گونه مورد مطالعه بیشتر بوده است. این یافته با نتایج مطالعات انجام شده در مورد پراکنش گونه‌های مرتعی در مناطق آهکی ایران همخوانی دارد (۱۷ و ۲۲). نتایج مقایسه صفات کمی گونه مورد مطالعه در تیپ‌های مختلف گیاهی (جدول ٤) نشان داد که بیشتر صفات رشدی شامل پوشش، تراکم، ارتفاع گیاه، قطر تاج و حجم بوته در بین تیپ‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار هستند. این موضوع بیانگر آن است که شرایط محیطی مختلف می‌تواند به طور مستقیم بر ویژگی‌های رشدی و ساختار جمعیت گونه تأثیر بگذارد. بیشترین مقدار این صفات در تیپ *Ag. intermedium* مشاهده شد که نشان‌دهنده مناسب بودن شرایط اکولوژیک این تیپ برای رشد گونه مورد مطالعه است.

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که الگوی پراکنش گونه دارویی باریجه در منطقه مورد مطالعه حاصل برهم‌کنش عوامل توپوگرافی و ویژگی‌های خاک است. شناخت این روابط می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت و حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی این گونه دارویی فراهم کند و در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مراتع و توسعه کشت گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گیرد. در پایان، لازم به ذکر است که پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی نیز مواجه بوده است. یکی از مهمترین این محدودیت‌ها، تعداد نسبتاً کم نمونه‌های خاک مرکب (۸ نمونه) در برابر تعداد نسبتاً زیاد متغیرهای محیطی مورد بررسی در تحلیل PCA است. هرچند نمونه‌برداری بر اساس واحدهای یکنواخت فیزیوگرافی و پوشش گیاهی انجام شد و هدف اصلی مطالعه، تحلیل الگوهای اکولوژیک در مقیاس محلی بوده است، اما با این وجود، تعداد کم نمونه‌ها می‌تواند قدرت تعمیم‌پذیری نتایج را به کل منطقه کاهش دهد. این موضوع یک محدودیت روش‌شناختی در مطالعه حاضر محسوب می‌شود و توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی با افزایش تعداد نمونه‌های خاک و استفاده از طرح‌های نمونه‌برداری سیستماتیک-تصادفی با تراکم بیشتر، روابط علی بین عوامل محیطی و پراکنش این گونه با دقت بالاتری بررسی

شود. علاوه بر این، پژوهش حاضر با محدودیت‌های دیگری نیز مواجه بوده است. نخست، در این مطالعه تنها برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی عمومی خاک شامل بافت، ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، آهک، pH و EC اندازه‌گیری شد و از اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف و پرنیاز دیگر نظیر آهن، روی، مس، منگنز و منیزیم که می‌توانند نقش مهمی در متابولیسم و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی داشته باشند، خودداری گردید. دوم، متغیرهای ریزاقلیمی نظیر دمای موضعی، رطوبت نسبی و تابش مؤثر خورشیدی که می‌توانند تحت تأثیر جهت شیب، پوشش سنگی و تراکم پوشش گیاهی تغییر کنند، در این پژوهش به طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دارای توپوگرافی ناهمگن است، احتمال دارد که ریزاقلیم‌های متفاوتی در استقرار و پراکنش گونه باریجه نقش داشته باشند. بنابراین، تعمیم نتایج این پژوهش به کل حوضه آبخیز طالقان باید با احتیاط صورت گیرد و انجام مطالعات تکمیلی با رویکرد جامع‌تر توصیه می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پراکنش و استقرار گونه دارویی *F. gummosa* در حوضه آبخیز طالقان به‌شدت تحت تأثیر عوامل توپوگرافی و ویژگی‌های خاک قرار دارد. در میان متغیرهای بررسی‌شده، ارتفاع، شیب، ماده آلی، نیتروژن، میزان آهک و بافت خاک مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تفکیک تیپ‌های گیاهی و پراکنش گونه بودند. بیشترین پوشش و تراکم گونه در تیپ *Ag.intermedium* مشاهده شد که دارای خاک‌های نسبتاً حاصلخیز، ماده آلی و نیتروژن بیشتر و میزان آهک کمتر بود. نتایج تحلیل PCA نشان داد که افزایش ارتفاع، شیب و ماده آلی خاک با بهبود شرایط استقرار گونه همراه است، در حالی که افزایش آهک و درصد شن می‌تواند موجب کاهش حضور گونه شود. این یافته‌ها بیانگر اهمیت شرایط خاک و توپوگرافی در مدیریت رویشگاه‌های طبیعی این گونه دارویی است.

**کاربردهای مدیریتی و پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده:**

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای کاربردی زیر ارائه می‌شود:

۱. **تعیین پهنه‌های مستعد کشت:** با توجه به نتایج، رویشگاه‌های با ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، شیب ۲۰ تا ٤۰ درصد، بافت لوم شنی، ماده آلی بالای ۲ درصد و آهک کمتر از ۱۵ درصد، به عنوان مناسب‌ترین پهنه‌ها برای کشت و توسعه پایدار گونه باریجه در حوضه آبخیز طالقان پیشنهاد می‌شوند. نقشه‌های توپوگرافی و خاک منطقه می‌توانند برای تهیه نقشه پهنه‌بندی این مناطق مورد استفاده قرار گیرند.

۲. **مدیریت حفاظتی:** در رویشگاه‌های با شرایط نامناسب مانند تیپ *S. alopecuroides—As. paralogues* که دارای آهک بالا و ماده آلی پایین است، هرگونه دام‌چرای زودهنگام و فشرده باید ممنوع شود و عملیات احیا با تمرکز بر اصلاح خاک (افزایش ماده آلی از طریق کود دامی پوسیده) در اولویت قرار گیرد.

۳. **پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده:** انجام مطالعات تکمیلی با تعداد نمونه خاک بیشتر و اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف و بررسی روابط علی با استفاده از روش RDA توصیه می‌شود. همچنین بررسی تأثیر ریزاقلیم‌های مختلف بر کمیت و کیفیت اسانس این گونه می‌تواند موضوع پژوهش‌های بعدی باشد.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای شناسایی رویشگاه‌های مستعد، مدیریت اصولی مراتع، حفاظت از ذخایر طبیعی و برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری پایدار و احیای گونه *F. gummosa* فراهم سازد.

**تشکر و قدردانی**

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران برای حمایت‌های مادی و معنوی در انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند

## منابع


1. Aćimović, M., et al., 2023. Chemical composition and biological activities of Ferula gummosa: A contemporary review. *Molecules*, 28(4): 1562.
2. Ahmadi, M., Hosseini, A. and Rezaei, H., 2018. Effects of soil properties on the distribution of medicinal rangeland species in mountainous ecosystems. *Journal of Rangeland Science*, 8(1): 45–58. (In Persian).
3. Asadi, M., Karimi, H. and Rezaei, M., 2014. Relationship between soil and topographic factors and the distribution of vegetation cover in semi-arid rangelands of Iran. *Iranian Journal of Range and Watershed Management*, 66(3): 421–432. (In Persian).
4. Azizi, M., Khoshbakht, K. and Firoozabadi, A., 2021. Ecological responses of medicinal plants to edaphic and topographic factors in arid and semiarid regions. *Ecological Indicators*, 129: 107914. (In Persian).
5. Brady, N.C. and Weil, R.R., 2017. The nature and properties of soils. 15th ed. Pearson education, UK.
6. Ćušterevska, R., Matevski, V. and Kostadinovski, M., 2022. Vegetation–environment relationships and multivariate analysis in ecological studies. *Hacquetia*, 21(1): 35–49.
7. De Bello, F., et al., 2021. Handbook of trait-based ecology: From theory to R tools. Cambridge university Press, UK.
8. Dengler, J., et al., 2020. Vegetation classification in a changing world. *Applied Vegetation Science*, 23(2): 302–316.
9. Farhadi, M., Mohammadi, S. and Kazemi, H., 2017. Effect of altitudinal gradient on diversity and distribution of plant species in mountainous ecosystems of Iran. *Journal of Applied Ecology*, 5(1): 23–35. (In Persian).
10. Franklin, J., et al., 2016. Predictive vegetation ecology in the age of big data. *Journal of Vegetation Science*, 27(4): 655–674.
11. Franklin, J., Serra-Diaz, J.M., Syphard, A.D. and Regan, H.M., 2017. Global change and terrestrial plant community dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(14): 3725–3734.
12. Hosseini, S.M., Akbari, N. and Ahmadi, A., 2013. Effects of soil properties on establishment and growth of medicinal plants in Iranian rangeland ecosystems. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(2): 185–197. (In Persian).
13. Hosseini, A., Karami, P. and Ahmadi, M., 2020. Environmental factors affecting the distribution of Ferula species in mountainous rangelands of Iran. *Ecological Research Journal*, 15: 75–89. (In Persian).
14. Jalali, M., Ghorbani, J. and Abbasi, M., 2012. Principles and methods of vegetation study and plant community classification. University of Tehran press. (In Persian).
15. Jug-Dujaković, M., Ristić, M., Pljevljakušić, D., Dajić-Stevanović, Z., Liber, Z., Hančević, K., & Satovic, Z. (2012). High Diversity of Indigenous Populations of Dalmatian Sage (*Salvia officinalis* L.) in Essential-Oil Composition. *Chemistry & Biodiversity*, 9(10): 2309–2323.
16. Kent, M., 2012. Vegetation description and data analysis: A practical approach. 2nd ed. Wiley-Blackwell, UK.
17. Khan, M.S., Ahmad, I. and Chattopadhyay, D., 2019. New look to phytomedicine: Advancements in herbal products as novel drug leads. Academic press.
18. Legendre, P. and Legendre, L., 2012. Numerical ecology. 3rd ed. Elsevier, The Netherlands.
19. Mosadegh, H., Rezvani Moghaddam, P. and Jafari, M., 2011. Ecology of vegetation cover and factors influencing species distribution in arid and semi-arid regions of Iran. *Iranian Journal of Range and Watershed Management*, 63(4): 567–579. (In Persian).
20. Piry Sahragard, H., Azarnivand, H., Zare Chahouki, M.A., Arzani, H. and Qumi, S., 2011. Study of effective environmental factors on distribution of plant communities in the Middle Taleghan Basin. *Iranian Journal of Natural Resources*, 64(1): 1–12. (In Persian).
21. Rezaei, H., Ahmadi, M. and Hosseini, A., 2021. Relationships between vegetation structure and environmental gradients in semi-arid rangelands of Iran. *Journal of Arid Land Studies*, 31: 112–126. (In Persian).
22. Sabatini, F.M., *et al*., 2021. sPlotOpen – An environmentally balanced, open-access, global dataset of vegetation plots. *Global Ecology and Biogeography*, 30(9): 1740–1764.
23. Sharma, R., *et al*., 2023. Influence of altitude and edaphic parameters on distribution and phytochemical traits of medicinal plants. *Scientific Reports*, 13: 11842.
24. Yaghoubi, A., Karimi, M. and Rahimi, F., 2015. Effect of topographic factors on species composition of vegetation cover in mountainous rangelands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(2): 145–156. (In Persian).

# Analysis of the Relationship Between Environmental Factors and the Distribution of Medicinal Species *Ferula Gummosa* Using Multivariate Methods (TWINSPAN and PCA) in the Taleghan Watershed

**Mojtaba Akhavan Armaki*[1], Melika Hashemi[1] and Mohammad Reza Shakeri[1]**

(Received: Apri 07-2026; Accepted: May 25-2026)

## Abstract

The growth and establishment of plant species are strongly influenced by environmental conditions and habitat ecological characteristics. This study investigated the relationships between environmental factors and the distribution of *Ferula gummosa* in the rangelands of the Taleghan watershed, Alborz Province, Iran. Vegetation sampling was conducted using 40 plots along four 100-m transects, accompanied by soil sampling. Vegetation communities were classified using the TWINSPAN method, and Principal Component Analysis (PCA) was applied to identify the main factors affecting species distribution. The results indicated that elevation, slope, organic matter, nitrogen content, lime content, and soil texture were the most influential variables. The *Agropyron intermedium* vegetation type provided the most favorable habitat conditions, characterized by an elevation of approximately 2400 m, a 35% slope, 2.8% organic matter, 0.25% nitrogen, and sandy loam soil. In contrast, the *Sophora alopecuroides–Astragalus paralogues* type exhibited the least suitable conditions. The highest production and establishment of *F.gummosa* occurred at elevations of 2300–2500 m, slopes of 20–40%, and fertile sandy loam soils with high organic matter and nitrogen and lower lime content. These findings provide valuable information for habitat identification, ecological management, and sustainable conservation of this medicinal species.

**Keywords:** *Ferula gummosa*, Environmental factors, Phytosociology, Multivariate analysis.

1. PhD graduates in Range Management, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran
* Corresponding Author, Email: mtakhavan@ut.ac.ir