

## عوامل اقلیمی و خاک‌شناسی مؤثر بر پوشش گیاهی درمنه‌زارهای استپی استان اصفهان

لیلا بخشنده‌مهر<sup>۱</sup>، محمدرضا یزدانی<sup>۲\*</sup>، رضا جعفری<sup>۳</sup> و سعید سلطانی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران، پست الکترونیک: m\_yazdani@semnan.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

۴- استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۲

### چکیده

پژوهش بر روی کنترل‌گرهای محیطی در جوامع گیاهی، یکی از زمینه‌های تحقیقاتی برای بسیاری از اکولوژیست‌هاست. شناسایی عوامل مؤثر بر پوشش گیاهی مناطق خشک، اولین گام در جهت شناسایی عوامل مخرب و موانع رشد و گسترش پوشش گیاهیست. در این پژوهش با استفاده از روش مدلسازی معادلات ساختاری و تکنیک حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) متغیرهای اقلیمی و خاک‌شناسی مؤثر بر پوشش گیاهی درمنه‌زارهای استپی استان اصفهان شناسایی و مدلسازی شد. طبق نتایج، درصد رس خاک، حداکثر ارتفاع هرزآب بر روی خاک، درجه حرارت و خشکی محیط از عوامل خاک‌شناسی و اقلیمی مؤثر بر میزان تولید و پوشش گیاهی در مکان‌های مورد مطالعه می‌باشند. ضمن اینکه، نقش عوامل اقلیمی نسبت به عوامل خاک‌شناسی در پراکنش پوشش گیاهی منطقه بیشتر است. مدل ارائه شده در این پژوهش، دارای دقت مناسب و قابلیت انعطاف‌پذیری بالا برای مدلسازی پدیده‌های اکولوژیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، حداقل مربعات جزئی، مدلسازی معادلات ساختاری، روایی، پایایی.

### مقدمه

نموده و با تولید اکوسیستم در ارتباط نزدیک هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر، فعالیت‌های انسانی و تغییرات فاکتورهای محیطی مانند خاک، توپوگرافی و آب به نوبه خود اقلیم و پوشش گیاهی (تیپ، تراکم و ساختار) را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Anderson & Goulden, 2011). بررسی و تحلیل روابط بین تیپ‌های پوشش گیاهی و محیط یکی از موضوعات اصلی مورد توجه اکولوژیست‌های گیاهیست. شناسایی این روابط و به‌طور خاص برای افزایش

پوشش گیاهی یکی از اجزای زنده و اصلی هر اکوسیستم است که همواره در تعامل با دیگر عوامل محیطی است (Gaitán *et al.*, 2014). شناسایی عوامل اکولوژیکی که تعیین کننده محل رشد، استقرار، ترکیب و فراوانی پوشش گیاهی هستند، از اولین گام‌های دستیابی به مدیریت پایدار مراتع است. بررسی الگوهای پراکنش پوشش گیاهی و تبادل انرژی به دلیل آنکه اقلیم منطقه‌ای و تولید آبی اکوسیستم را کنترل

طبقه‌بندی، همگام با توسعه و اتخاذ روش‌های دسته‌بندی، منجر به استفاده گسترده اکولوژیست‌ها از تکنیک‌های چند متغیره شد. در آن زمان، به دلیل محدودیت‌هایی که در ابزارهای آماری وجود داشت، به مطالعه روابط پیچیده بین متغیرهای محیط زیستی توجه کمتری می‌شد. در حال حاضر توانایی محققان برای توصیف این روابط، به دلیل کمبود روش‌هایی که مفاهیم را از مجموعه متغیرهای وابسته محیطی استخراج می‌کنند، محدود شده است. امروزه، تعدادی از روش‌های عددی برای آنالیز روابط بین خصوصیات محیط زیستی وجود دارد. یکی از معمولی‌ترین روش‌ها برای رفع این مشکل، استفاده از روش‌های رگرسیون معمولی و چند متغیره است. در مطالعات اکولوژیک روش‌های چندمتغیره با اهداف متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تحلیل کاهشی (Redundancy Analysis)، تحلیل تطبیقی متعارف (Canonical Correspondence Analysis)، تحلیل تطبیقی متعارف قوس‌گیر شده (Detrended Canonical Correspondence Analysis) و منحنی‌های پاسخ اصلی (Principal Response Curves) از جمله این روش‌ها هستند. Gao و همکاران (۲۰۱۷) رابطه بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی را در سطوح کاربری اراضی، نوع، تیپ و فرم و زیرفرم پوشش گیاهی را با استفاده از تجزیه و تحلیل کاهشی مورد بررسی قرار دادند. Fölster و همکاران (۲۰۰۱) روابط بین پوشش گیاهی و پارامترهای شیمیایی خاک را به منظور کشف دلایل از بین رفتن پوشش در جنگل‌های ساوانا مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج حاصل، بی‌ثباتی جنگل ناشی از خواص شیمیایی خاک (به‌ویژه کربن و ذخایر کاتیونی) و تنش‌های دوره‌ای خشکسالی به‌طور همزمان بود. Moradi و Vacik (۲۰۱۸) نیز به منظور بررسی روابط بین عوامل محیطی و تعیین مؤثرترین آنها بر تیپ پوشش گیاهی از دیاگرام چرخشی تحلیل تطبیقی متعارف قوس‌گیر شده (Detrended Canonical Correspondence Analysis) استفاده کردند. در

اطلاعات در مورد تأثیر تغییرات جهانی بر روی اکوسیستم‌ها و بازخورد اکوسیستم‌ها به تغییر اقلیم ضروریست. شناسایی پاسخ پوشش گیاهی به تغییرات اقلیمی، می‌تواند پیش‌بینی تأثیر این تغییرات را بر اکوسیستم‌ها، تنوع زیستی و امنیت غذایی بهبود ببخشد (Huete, 2016). رابطه بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی می‌تواند تعاملات بین عوامل مؤثر، فرایندها و الگوهای محیطی را افشا نموده و به شناسایی عوامل مهمی که منجر به تغییرات محیطی می‌شوند، کمک کند. این رابطه می‌تواند با استفاده از مدل‌ها (Yang et al., 2016)، معیارها (Peng et al., 2016) و یا محاسبات آماری تجزیه و تحلیل شوند (Gao et al., 2017). معیارهای مبتنی بر چشم‌انداز اغلب برای اندازه‌گیری الگوها و تشکیلات مکانی پوشش گیاهی به‌کار می‌روند و همانند بسیاری از روش‌های اکولوژیکی به مقیاس حساس هستند. به‌هرحال، این معیارها معمولاً در یک سطح (اغلب در سطح کاربری اراضی / پوشش اراضی) به‌کار می‌روند، از این رو برای استخراج روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی نامناسبند (Peng et al., 2016). پوشش گیاهی به وسیله عوامل اکولوژیکی گوناگون (مانند بارش، دما، نور، خاک و موقعیت محل رشد) تحت تأثیر قرار می‌گیرد. معیارهای مبتنی بر چشم‌انداز نیز بر مبنای عوامل تعیین‌کننده توپوگرافی مانند ارتفاع، جهت و شیب شکل می‌گیرند. بنابراین به‌منظور رفع نیازهای مختلف در مدیریت منابع، لازم است پاسخ پوشش گیاهی به محیط در مقیاس چندگانه مورد بررسی قرار گیرد (Peng et al., 2016). مطالعات بیوفیزیکی بر روی جریان آب، باد و انرژی در سطح خاک که تحت تأثیر خصوصیات سطح زمین (خصوصیاتی مانند حضور یا عدم حضور پوشش گیاهی و یا نوع و وضعیت پوشش گیاهی و خاک) هستند، متمرکز شده‌اند. مطالعات بسیاری در رابطه با تأثیر پارامترهای مختلف بر روی پوشش گیاهی و خصوصیات آن انجام شده است که در آنها از روش‌های آماری مختلفی استفاده شده است. کاربرد روش‌های

پژوهش مذکور عوامل مؤثر بر تیپ‌های مختلف گیاهی به‌طور مجزا تجزیه و تحلیل شدند. درک کامل سیستم‌های اکولوژیک نیازمند آن است که بتوان اثرها، پاسخ‌ها و روابط متقابل پیچیده بین متغیرهای اکوسیستم را به‌طور همزمان مورد بررسی قرار داد. دستیابی به این هدف، با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره معمولی بسیار مشکل و در مواردی غیرممکن است. از این رو محققان همواره به دنبال روش کاری مناسب برای بررسی تئوری‌های پیچیده و ارزیابی روابط بین متغیرها هستند (Grace, 2006). Chang (۱۹۸۱) و Maddox و Antonovics (۱۹۸۳) تکنیک مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM: Structural Equation Modeling) را برای آشکارسازی روابط همبستگی و تصادفی بین عوامل چندگانه در سیستم‌های طبیعی پیشنهاد نمودند. این تکنیک که برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل فرضیه‌های چند متغیره ارائه شده، تاکنون توسط محققان بسیاری در زمینه‌های مختلف پژوهشی استفاده شده است که عبارتند از: ارزیابی روابط فی‌مابین عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک (Eisenhauer et al., 2015; Gama-Rodrigues et al., 2014)، ارزیابی خصوصیات بیوفیزیکی مرتبط با پوشش گیاهی و کشف تعاملات آنها با هم (Lam & Maguire, 2012; Le Bagousse-Pinguet et al., 2014)، شناسایی روابط بین خصوصیات خاک و عوامل زیستی پوشش گیاهی، اقلیمی و دیگر عوامل محیطی (Gaitán et al., 2014; Rabbi et al., 2015). تنوع و پیچیدگی که در روابط بین پارامترهای مختلف یک اکوسیستم وجود دارد، در اغلب موارد موجب غیرنرمال بودن داده‌های محیطی می‌شود. تکنیک حداقل مربعات جزئی (Partial Least Square) که یکی از رویکردهای نسل دوم SEM است، توسط Wold (۱۹۸۲) ابداع گردید و در مقایسه با روش‌های کوواریانس محور قبلی، از مزیت‌های بیشتری برخوردار بود. مهمترین برتری این روش نسبت به دیگر روش‌ها، عدم نیاز به حجم نمونه بالا و سازگاری با داده‌های غیرنرمال است (Henseler

et al., 2009). از این رو در این پژوهش جایگزین تکنیک معادلات ساختاری مبتنی بر کوواریانس شده است. روش‌های قبلی تئوری‌ها را با استفاده از برآورد ماتریس کوواریانس داده‌ها تأیید می‌کنند، در حالی که فرایند عملکرد PLS-SEM مشابه با آنالیز رگرسیون چندگانه است. بر این اساس، PLS روش مناسب‌تری برای آشکارسازی روابط بین متغیرهاست (Hair Jr et al., 2014).

استان اصفهان که تحت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک مرکز ایران قرار دارد، هر ساله شاهد کاهش روزافزون پوشش گیاهی و تخریب خاک می‌باشد. بررسی و شناسایی عوامل محیطی که بیشترین تأثیر را بر پوشش گیاهی منطقه دارند، اولین مرحله از مراحل پژوهش، تصمیم‌گیری و اقدام عملی است که برای اصلاح شرایط نامناسب ایجاد شده، انجام می‌شود. در این پژوهش با تکیه بر قابلیت‌های تکنیک PLS-SEM در مدل‌سازی فرایندهای اکولوژیک، روابط بین پارامترهای مختلف در بخش‌هایی از درمنه‌زارهای استپی استان شناسایی و مدل‌سازی شد. سپس تأثیر پارامترهای مختلف محیطی بر پوشش گیاهی منطقه بررسی و مؤثرترین عوامل شناسایی شدند.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری

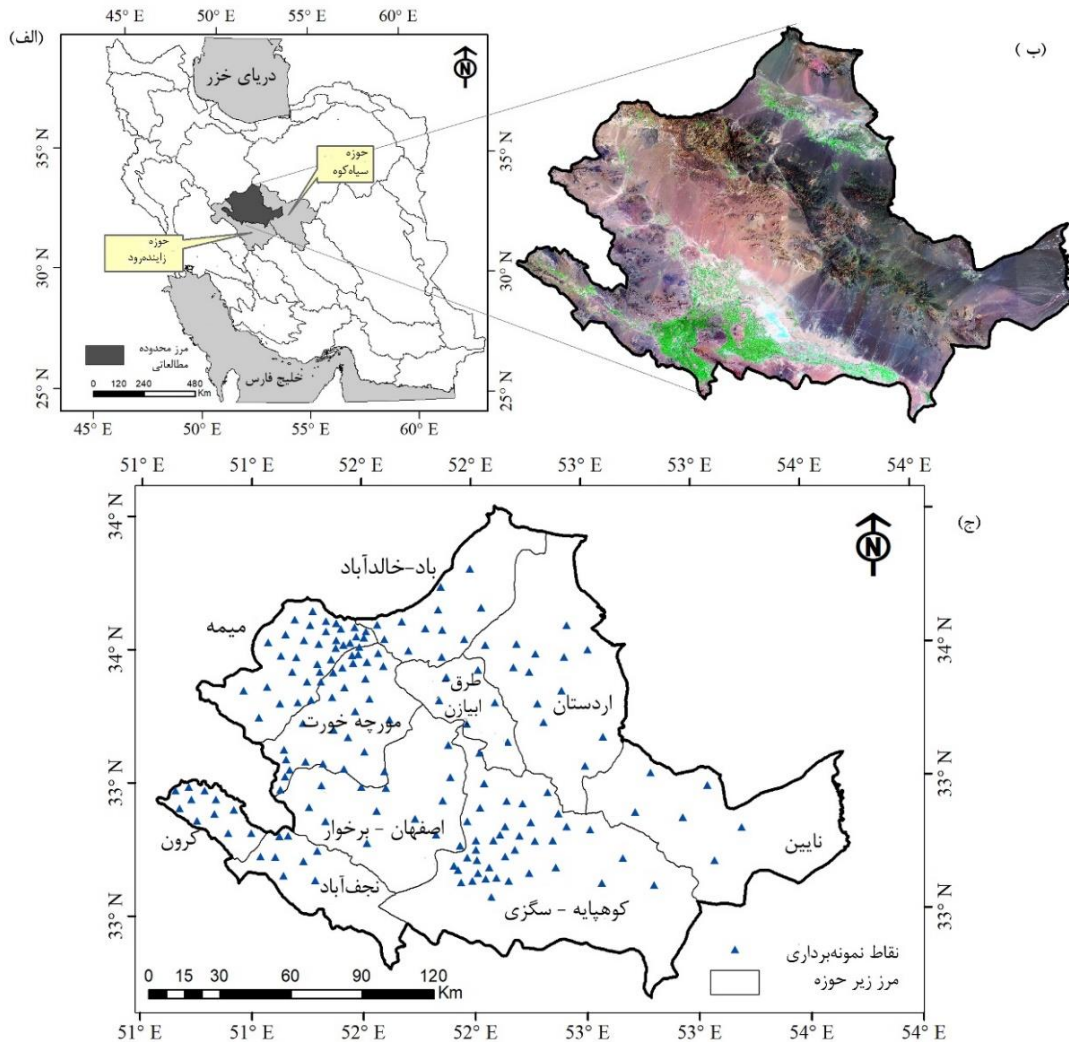
محدوده مطالعاتی شامل بخش‌هایی از مراتع شهرستان‌های اصفهان، برخوار، شاهین‌شهر و میمه، نایین، اردستان، نجف‌آباد، تیران و کرون می‌باشد که با مساحتی برابر ۲۸۵۸۱ کیلومتر مربع در استان اصفهان و مابین عرض‌های جغرافیایی ۳۲°۱۰' و ۳۴°۰۴' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۰°۳۴' و ۵۳°۴۲' شرقی واقع شده است. این منطقه شامل ۱۰ زیرحوزه از حوزه‌های زاینده‌رود و سیاه‌کوه است (شکل ۱). خصوصیات فیزیکی غالب این زیرحوزه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد بارزترین خصوصیات اقلیمی این منطقه است. تغییرات فصلی بارش بسیار و متوسط

متعددی قرار داشته است و در زمره اکوسیستم‌های شکننده استان قرار دارد. چرای مفرط و زودهنگام، بوته‌کنی، واگذاری اراضی به کاربری‌های غیر مرتعی اعم از بهره‌برداری از معادن و احداث کارگاه‌های صنعتی از جمله عوامل تهدیدکننده سلامت این مراتع است. به‌منظور مقابله با تخریب ایجاد شده و معکوس نمودن روند آن از طریق راهکارهای مدیریتی و حفاظتی صحیح، نخست باید عوامل مؤثر بر پوشش گیاهی شناسایی و اولویت‌بندی شوند. با وجود تنوع اقلیمی و خاک شناسی بسیاری که در منطقه مورد مطالعه مشهود است، جوامع و تیپ‌های گیاهی تقریباً مشابه و وسیع هستند. اما از جنبه میزان تولید، درصد پوشش تاجی و حتی سلامت پوشش گیاهی ناهمگن و متنوع‌اند. از این رو دارای موقعیتی مناسب برای بررسی عوامل مؤثر بر پوشش و اولویت‌بندی هستند. به همین منظور، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و نمونه‌برداری خاک و پوشش گیاهی در سطح آن انجام شد. برآورد پوشش تاجی و میزان تولید گیاهی در مراتع مناطق خشک و گرم، در اردیبهشت‌ماه و در مراتع مناطق نیمه‌خشک در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد.

بارش سالانه در سطح استان نیز از کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در شرق تا ۲۸۰ میلی‌متر در ارتفاعات جنوب‌غرب متغیر است. تبخیر سالانه با میانگینی برابر ۲۴۵۰ میلی‌متر با یک شیب تقریباً ثابت از غرب به شرق کاهش می‌یابد. بارش اندک همراه با تبخیر بالا در بخش‌های شرقی شرایط نامناسبی را برای رشد و استقرار گیاه ایجاد نموده است. این منطقه مشتمل بر مراتع واقع شده بر دشت‌های دامنه‌ای، دشت‌های رسوبی و اراضی پست مناطق بیابانی هستند. در دشت‌های دامنه‌ای و رسوبی پوشش گیاهی غالب از گونه‌های *Artemisia herba* و *Artemisia sieberi alba* بوده و سطح قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند. در اراضی پست که اغلب شوری خاک در آنها به وضوح قابل مشاهده است، گونه‌های غالب اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) و آناباسیس (*Anabasis aphylla*) هستند. مراتع مذکور اغلب در وضعیت فقیر یا متوسط با فرم پوشش گیاهی بوته‌ای چندساله هستند. گونه‌های درمنه دشتی (*A. sieberi*) و درمنه کوهی (*A. aucheri*) در مساحتی در حدود ۴ میلیون هکتار از سطح ۶/۲ میلیون هکتاری مراتع استان اصفهان پراکنده شده‌اند. این سطح وسیع همواره تحت تأثیر عوامل تخریبی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی منطقه مورد مطالعه به تفکیک زیر حوزه

زیر حوزه	مساحت (هکتار)	نمود ظاهری پوشش	گونه یا گونه‌های غالب	دامنه ارتفاعی (متر)	جهت غالب	شیب غالب	متوسط دما (درجه سانتیگراد)	متوسط بارش سالانه (میلی متر)	تیپ اراضی	بافت خاک
باد-خالدآباد	۲۰۹۳۴۱	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Artemisia herba-alba, Salsola sp. -</i>	۳۷۷۲-۹۷۴	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۶/۲۳	۱۸۴/۹۵	فلات‌ها و تراسهای فوقانی	سبک تا متوسط
میمه	۲۰۴۲۰۵	بوته‌ای	<i>Artemisia herba-alba, Artemisia aucheri, Scariola orientalis</i>	۳۵۸۸-۱۹۰۰	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۱/۳۵	۱۹۶/۷۹	فلات‌ها و تراسهای فوقانی	سبک تا متوسط
مورچه‌خورت	۲۲۶۳۱۱	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Anabasis aphylla, Scariola orientalis</i>	۳۳۰۰-۱۶۹۹	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۳/۰۶	۱۶۶/۷۵	کوه، فلات‌ها و تراسهای فوقانی	متوسط تا سنگین
طرق-ابیزان	۱۲۷۵۸۷	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Anabasis aphylla, Scariola orientalis</i>	۳۸۹۵-۱۳۸۶	جنوبی	۱-۳ درصد	۱۲/۸۶	۱۶۳/۵۶	کوه، فلات‌ها و تراسهای فوقانی	متوسط تا سنگین
اردستان	۴۳۷۳۹۳	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Seidlitzia rosmarinus, Cornulaca monacantha</i>	۳۱۷۶-۹۴۹	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۶/۷۲	۱۴۰/۲۳	فلات‌ها و تراسهای فوقانی، آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار	متوسط
اصفهان-برخوار	۳۳۸۵۱۵	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Anabasis aphylla, Scariola orientalis</i>	۲۵۷۷-۱۵۴۹	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۴//۷۰	۱۴۶/۸۸	فلات‌ها و تراسهای فوقانی، دشت‌های دامنه‌ای، واریزه‌های بادبزنی شکل	متوسط تا سنگین
نابین	۵۰۰۴۲۲	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Salsola tomentosa, Anabasis aphylla</i>	۳۰۰۰-۹۹۹	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۶/۱۹	۱۳۲/۷	فلات‌ها و تراسهای فوقانی، واریزه‌های بادبزنی شکل	متوسط تا سنگین
کوهپایه - سگزی	۶۶۷۷۰۷	بوته‌ای	<i>Artemisia siebri, Salsola tomentosa, Scariola orientalis</i>	۳۳۳۰-۱۴۹۹	جنوب شرقی	کمتر از ۱ درصد	۱۵/۲۶	۱۲۰/۸۱	دشت‌های سیلابی، واریزه‌های بادبزنی شکل	متوسط تا سنگین
نجف‌آباد	۱۷۱۱۶۰	بوته‌ای	<i>Scariola orientalis, Artemisia aucheri, Scariola orientalis</i>	۲۷۰۰-۱۵۹۶	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۳/۹۶	۱۸۲/۶۰	فلات‌ها، دشت‌های رسوبی، واریزه‌های بادبزنی شکل	متوسط تا سنگین
کرون	۷۱۷۳۹	بوته‌ای	<i>Astragalus spp., Artemisa Aucheri, Cousinia sp.</i>	۳۳۰۰-۲۰۰۰	جنوبی	کمتر از ۱ درصد	۱۰/۵۰	۲۷۹/۴۶	فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، دشت‌های دامنه‌ای	سبک تا متوسط



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

(الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران، (ب) منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ترکیب رنگ کاذب (FCC: False Color Composite) ماهواره لندست سنجنده ETM<sup>+</sup>، (ج) موقعیت نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه زیرحوزه‌ها

## روش کار

شده و در نظر گرفته شوند. در مرحله اول عوامل مؤثر با توجه به مطالعات پیشین و بازدیدهای صحرایی تعیین شده و روابط بین آنها با استفاده از تکنیک PLS-SEM مدلسازی شد. روش کار و مراحل مختلف تحقیق به صورت فلوجارت ۲ ارائه شده است.

همان‌طور که ذکر شد، عوامل اقلیمی، توپوگرافیک، خاک‌شناسی و پارامترهای پوشش گیاهی در یک اکوسیستم دارای روابط متقابل و گاهی یکسویه هستند. در مدلسازی پارامترهای محیطی روابط بین این عوامل باید به خوبی تعریف



جدول ۲- متغیرهای تأثیرگذار در مدل‌سازی فرسایش‌پذیری خاک

متغیر	علامت اختصاری	شرح
بارش (میلی‌متر)	C1	بارش متوسط سالانه (۲۰۱۶-۱۹۹۵) - میان‌یابی بین ۴۳ ایستگاه کلیماتولوژی و سینوپتیک به روش کریجینگ (Langbein & Schumm, 1958)
فصلی بودن بارش	C2	فصلی بودن نسبی (Walsh & Lawler, 1981)
تبخیر (میلی‌متر)	C4	تبخیر سالانه (۲۰۱۶-۱۹۹۵) - میان‌یابی بین ۴۳ ایستگاه کلیماتولوژی و سینوپتیک به روش کریجینگ (Langbein & Schumm, 1958)
درجه حرارت (درجه سانتیگراد)	C5	درجه حرارت سالانه (۲۰۱۶-۱۹۹۵) - میان‌یابی بین ۴۳ ایستگاه کلیماتولوژی و سینوپتیک به روش کریجینگ (Langbein & Schumm, 1958)
خشکی	C6	شاخص خشکی (Bagnouls & Gaussen, 1957)
سرعت باد (متر بر ثانیه)	C7	میانگین سالانه سرعت باد با قدرت تفکیک ۳۰ ثانیه (تقریباً ۱ کیلومتری) - مأخذ: پایگاه داده‌های اقلیمی WorldClim نسخه ۲ (Fick & Hijmans, 2017a, 2017b)

متغیرهای اقلیمی

## ادامه جدول ۲-

متغیر	علامت اختصاری	شرح
شوری خاک (میکروموس بر سانتی‌متر)	S1	هدایت الکتریکی (EC) (Richards, 1954)
قلیائیت خاک	S2	نسبت جذب سدیم (SAR) (Richards, 1954)
مواد آلی خاک (درصد)	S3	درصد مواد آلی (Walkley, 1935)
چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	S4	روش کلوخه آغشته به پارافین (Blake & Hartge, 1986)
بافت خاک	S5	درصد ماسه
	S6	درصد رس
	S7	درصد سیلت
سنگریزه سطحی (درصد)	S8	درصد پوشش سنگریزه‌ای

متغیرهای خاک‌شناسی



شرح	علامت اختصاری	متغیر	
محاسبه قطر معادل (Chepil, 1958)	S9	قطر معادل (میلی متر)	
به دست آوردن منحنی توزیع اندازه ذرات خاک (PSD) (Skaggs et al., 2001) و محاسبه بعد فرکتال خاک (Tyler & Wheatcraft, 1990)	Dt	بعد فرکتال اندازه ذرات خاک	
مستخرج از مدل ارتفاعی رقومی (DEM)	S11	ارتفاع (متر)	متغیرهای ارتفاع
مستخرج از مدل ارتفاعی رقومی (DEM)	S12	شیب (درصد)	
با استفاده از قطر ذرات مستخرج از منحنی توزیع ذرات خاک (Hazen, 1893)	H1	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی متر بر ثانیه)	متغیرهای هیدرولوژیک
روش شماره منحنی SCS (SCS, 1972)	H2	حداکثر ارتفاع هرزآب (سانتی متر)	
درصد پوشش تاجی	V1	پوشش تاجی (درصد)	متغیرهای گیاه‌شناسی
تولید گیاهی در عرصه طبیعی	V2	تولید (کیلوگرم در هکتار)	
شاخص اختلاف نرمال پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر MODIS	V3	NDVI	

ترانسکت و در واحدهای با پوشش گیاهی غیریکنواخت از ۵ ترانسکت استفاده شده است. میزان تولید گیاهی در واحدها به روش پلات و نمونه‌گیری دوبل و برآورد وزن اندازه‌گیری شد. محل پلات‌ها در داخل هر واحد به‌طور تصادفی انتخاب شد. ابعاد پلات در مراتع مناطق خشک که پوشش از نوع بوته‌ای تنک است ۲\*۱ متر و در مراتع مناطق نیمه‌خشک که پوشش بوته‌ای متراکم‌تر بوده و گندمیان نیز حضور دارند، ۱\*۱ متر انتخاب گردید. تعداد پلات‌ها در هر واحد با توجه به شکل رویشی و مساحت واحد تعیین شد.

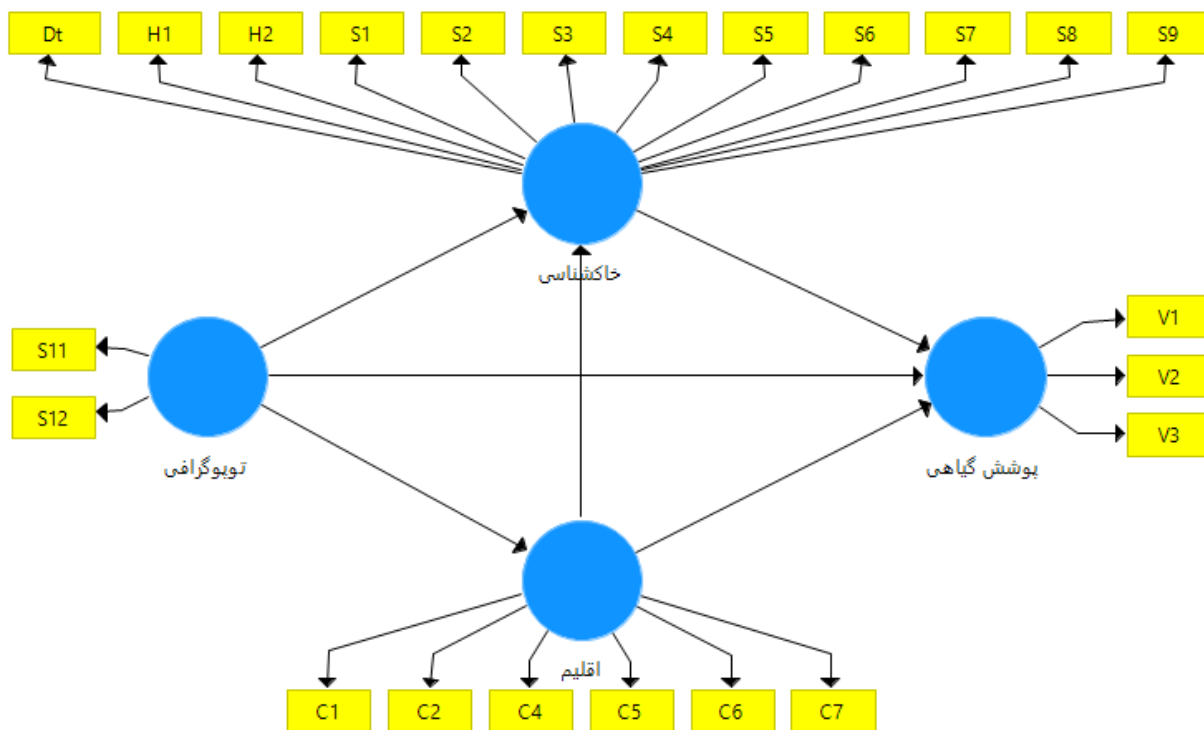
نمونه‌برداری خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک‌شناسی و انجام آزمایش و تجزیه و تحلیل آنها، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری و محاسبه شد.

شناسایی داده‌های یرت چند متغیره، با استفاده از تجزیه

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای ورودی‌های مدل در قالب برداشت میدانی، استفاده از اطلاعات و آمار موجود و عملیات آزمایشگاهی در ۱۶۰ نقطه پراکنده در سطح منطقه انجام شد. به‌منظور تعیین نقاط نمونه‌برداری در شرایط مختلف اکولوژیک، از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده شده است (Cook & Stubbendieck, 1986). بدین منظور، ابتدا واحدهای همسان از تلفیق سه نقشه تیپ اراضی، پوشش اراضی (تعیین مرز مراتع) و نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به روش دمارتن (De Martonne, 1941) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه و بعد نقاط نمونه به‌طور تصادفی در ۹۳ واحد مختلف حاصل از تلفیق لایه‌ها انتخاب شده‌اند. درصد پوشش تاجی به روش ترانسکت خطی برآورد گردید. طول ترانسکت‌ها با توجه به نوع پوشش گیاهی و تراکم آن بین ۲۰ تا ۵۰ متر انتخاب شد. در واحدهایی که پوشش یکنواخت بود از سه

آشکار، در قالب چهار گروه و بر مبنای مطالعات پیشین و بازدیدهای میدانی، برای تبیین پارامترهای پنهان گروه‌بندی شدند. در این تحقیق به منظور طراحی مدل ساختاری، چهار متغیر پنهان تعریف شد که عبارتند از: عامل اقلیم، عامل خاک‌شناسی، عامل توپوگرافی و عامل پوشش گیاهی. متغیرهای آشکار بر مبنای تئوری‌ها و مفاهیم اکولوژیک، این متغیرهای پنهان را تبیین و تعریف می‌کنند (شکل ۳).

و تحلیل ۱۶۰ مجموعه داده به روش فاصله ماهالانوبیس (Mahalanobis Distance) انجام شد (Rousseeuw & Van Zomeren, 1990). ۱۶ مجموعه داده به‌عنوان داده‌های پرت شناسایی شد، از این رو ۱۴۴ مجموعه داده به‌عنوان ورودی‌های مدل انتخاب شدند. به‌منظور مدلسازی روابط بین متغیرهای محیطی و تأثیر آنها بر یکدیگر، پارامترهای انتخاب شده در بالا به‌عنوان متغیرهای



شکل ۳- چارچوب مفهومی و ساختار اولیه مدل در این پژوهش

- ضریب تشخیص (R-Square) که نمایانگر آن است که متغیرهای پنهان در مدل ساختاری موجود تا چه اندازه توانسته‌اند یکدیگر را توصیف نمایند.  
- ضریب مسیر (Path coefficient) که میزان تأثیر یک متغیر پنهان را بر روی یک متغیر پنهان دیگر در مدل ساختاری بیان می‌کند.

مدلسازی در این پژوهش با استفاده از تکنیک PLS-SEM و در محیط نسخه سوم از نرم‌افزار Smart-PLS انجام شد. اولین گام برای مدلسازی به این روش، تعریف سازه‌های پنهان بر مبنای مدل مفهومی و بعد طراحی مدل ساختاری با توجه به روابط موجود بین عوامل پنهان است. پس از اجرای مدل سه نوع نتیجه گزارش می‌شود:

بارهای عاملی (Factor loading) که تعیین کننده متغیر آشکاری است که بیشترین نقش را در تبیین سازه پنهان داشته انجام می‌شود. اولویت بندی متغیرهای آشکار بر اساس این پارامتر است.

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی ثبات مدل اندازه‌گیری

نوع آزمون	گروه شاخص	شاخص	نحوه محاسبه	مأخذ
روایی	روایی همگرا	میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده $< 0.5$	$AVE = \frac{(\sum \lambda_i^2) \text{var } F}{(\sum \lambda_i^2) \text{var } F + \sum \theta_{ii}}$	(Fornell & Larcker, 1981)
پایداری	روایی واگرا	بارهای عاملی متقابل		(Henseler <i>et al.</i> , 2009)
پایایی		آلفای کرونباخ $< 0.7$		(George & Mallery, 2003)
		پایایی ترکیبی $< 0.6$	$CR = \frac{(\sum \lambda_i)^2 \text{var } F}{(\sum \lambda_i)^2 \text{var } F + \sum \theta_{ii}}$	(Nunnally & Bernstein, 1994)
		بار عاملی $< 0.4$		(Hulland, 1999)

\*  $\theta_{ii}$ : واریانس خطا، F: واریانس عاملی،  $\lambda_i$ : بار خارجی

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی برازش مدل

مدل	شاخص	سطح قابل قبول	فرمول محاسبه	مأخذ
مدل اندازه‌گیری	مقادیر اشتراکی	Communality $> 0.5$		(Hair Jr <i>et al.</i> , 2014)
	مقادیر معنی‌داری T	T-values $> 1.96$ in confidence level of 95%		(Hair Jr <i>et al.</i> , 2014)
مدل ساختاری	ضریب تشخیص ( $R^2$ )	R-Square $> 0.67$ Strong R-Square $> 0.33$ Medium R-Square $> 0.19$ Weak		(Chin, 1998)
	افزونگی (Redundancy)	هر چه بیشتر، برازش مناسب‌تر	$\overline{Red} = Communality \times R^2$	(Hair Jr <i>et al.</i> , 2014)
مدل کلی	نیکی برازش (GOF)	GoF $> 0.36$ Strong fitness GoF $> 0.25$ Medium fitness GoF $< 0.01$ Weak fitness	$GoF = \sqrt{Communality \times R^2}$	(Wetzels <i>et al.</i> , 2009)

بانک داده حذف گردید. آماره‌های داده‌های ورودی به مدل پس از حذف داده‌ها محاسبه و در جدول ۵ ارائه شد. مدل ساختاری و مدل‌های اندازه‌گیری پس از چندین مرتبه اجرای مدل، محاسبه خطاها و اصلاح مدل به صورت شکل ۴ نهایی و ارائه شد. بارهای عاملی در شکل ۴، بر روی اتصالات بین متغیرهای آشکار (مستطیل زرد رنگ) و متغیرهای پنهان (دایره آبی رنگ) به نمایش درآمده و نمایانگر سهمی است که هر یک از متغیرها در تبیین متغیر پنهان داشته‌اند. البته هرچه بار عاملی بزرگتر باشد، متغیر برای تعریف متغیر پنهان مناسب‌تر است. اصلاح مدل در قالب فرایند یکنواخت‌سازی (Unidimensionality) انجام شد که در طی آن شاخص‌هایی که در مدل اندازه‌گیری مختص به خود بار عاملی کمتر از ۰/۴ به خود اختصاص دادند، حذف شدند. ضرایب مسیر نیز بر روی اتصالات متغیرهای پنهان به یکدیگر نشان داده شده و در واقع میزان تأثیر متغیر برون‌زا (مستقل) بر متغیر درون‌زا (وابسته) را نمایش می‌دهد. ضرایب تشخیص  $R^2$  که در داخل دایره‌های نماد متغیرهای پنهان درون‌زا ارائه شده، نمایانگر تناسب ارتباط تعریف شده بین متغیرهای پنهان است و در واقع برآزش مدل ساختاری را ارزیابی می‌کند. البته ارتباط بین عامل توپوگرافی و پوشش گیاهی و ارتباط بین همین عامل با خاک‌شناسی با توجه به ضریب تشخیص پایین و به دلیل معنی‌دار نبودن حذف شده است.

معنی‌داری بارهای عاملی و ضرایب مسیر با استفاده از آزمون تی (t-Test) در سطح اطمینان ۰/۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر تی بالاتر از ۱/۹۶ از نظر آماری معنی‌دار و قابل قبول بوده و پارامترهای غیرمعنی‌دار به منظور افزایش روایی و پایایی مدل حذف شدند. پایداری مدل در دو بخش روایی و پایایی و با استفاده از شاخص‌های ارائه شده در جدول ۳ مورد بررسی قرار گرفت.

برآزش مدل نهایی در سه بخش و با استفاده از شاخص‌های جدول ۴ مورد ارزیابی قرار گرفت: مدل اندازه‌گیری، مدل ساختاری و مدل کلی.

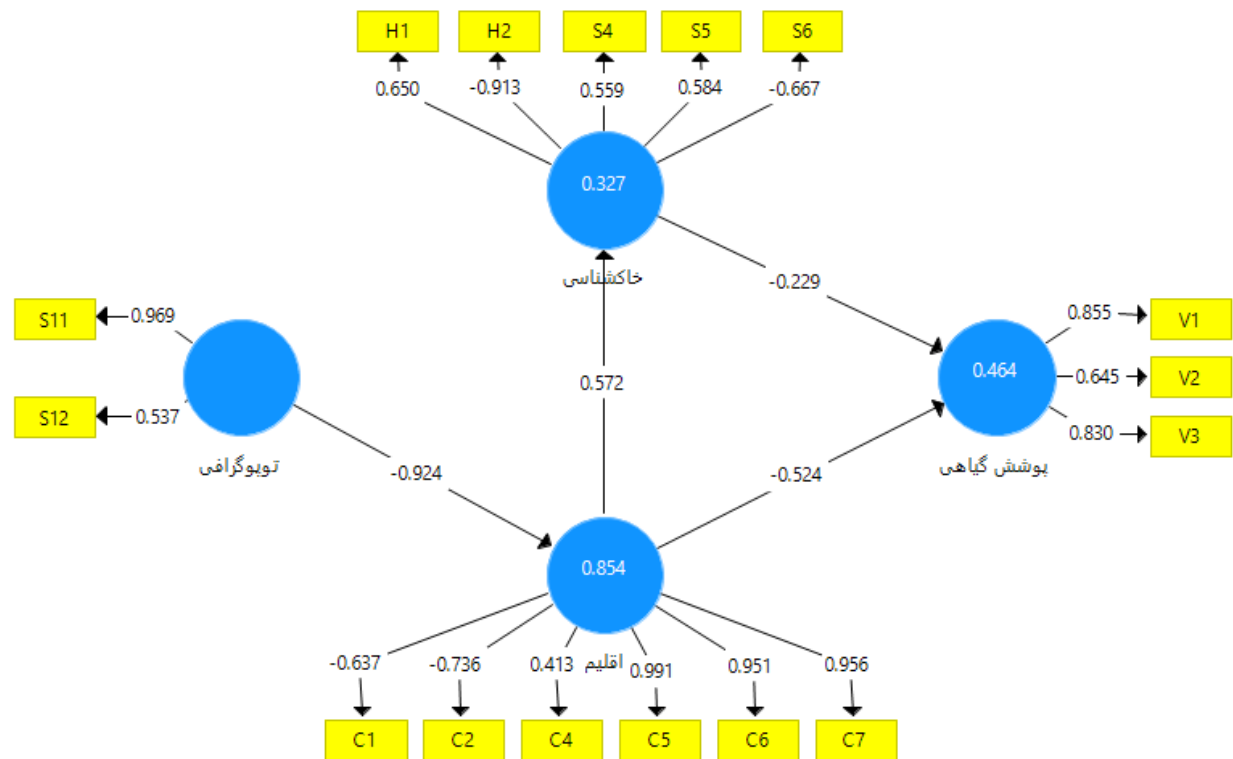
پس از هر بار اجرای مدل، کلیه شاخص‌های مذکور محاسبه شده و ساختار مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ساختار نهایی مدل با توجه به شاخص‌های ارزیابی و تغییراتی که پس از هر بار ارزیابی در مدل‌های اندازه‌گیری و ساختاری حاصل می‌شود، تعیین و قطعی شده است.

## نتایج

همانطور که ذکر شد، در اولین گام از مراحل پژوهش، مجموعه داده‌های محیطی که با استفاده از برداشت‌های صحرائی، عملیات آزمایشگاهی و مطالعات موجود تهیه و جمع‌آوری شده بود، با استفاده از آزمایش ماهالانوبیس مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، فاصله موهالانوبیس ۲۰/۴۸ تعیین شد. از این رو ۱۶ مجموعه داده به‌عنوان داده پرت شناسایی شد و از

جدول ۵ - آمار توصیفی داده‌های ورودی به مدل

چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میان	میانگین	شاخص
۱/۹۸	۱/۸۵	۲۸۷۹/۰۶	۱۵۱۴۰	۵۸	۶۲۵	۱۶۱۰/۹۳	S1 شوری خاک (میکروموس بر سانتی‌متر)
۱/۳۹	۱/۶۵	۱۳۱/۹۸	۹۳۹/۰۵	۱/۰۲	۹/۷۲	۵۱/۰۶	S2 قلیائیت خاک (SAR)
۱/۴۶	۲/۵۳	۰/۳۱	۱/۵۷	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۳۸	S3 مواد آلی خاک (درصد)
-۰/۶۷	-۰/۳۹	۰/۱۱	۱/۸۸	۱/۳۸	۱/۷۶	۱/۷۳	S4 چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
-۰/۷۵	-۰/۳۵	۱۸/۰۷	۹۴	۱۳/۳۰	۷۶/۱۰	۷۰/۵۳	S5 ماسه (درصد)
۱/۲۷	۱/۲۴	۸/۳۵	۴۳	۱/۷۰	۸/۲۰	۱۱/۰۱	S6 رس (درصد)
۰/۷۸	-۰/۳۲	۱۱/۵۸	۵۲	۲	۱۵	۱۸/۴۷	S7 سیلت (درصد)
-۰/۴۰	-۱/۰۴	۲۶/۲۰	۹۰	۱	۵۲	۴۶/۴۰	S8 سنگریزه سطحی (درصد)
-۰/۴۰	-۰/۵۷	۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۴۷	S9 قطر معادل (میلی‌متر)
-۰/۲۴	-۰/۰۳	۴۳۵/۸۰	۲۷۸۶	۹۱۴/۰۰	۱۸۲۷	۱۸۴۷/۹۲	S11 ارتفاع (متر)
۱/۹۰	۴/۳۲	۵/۳۰	۲۷/۱۵	۰/۱۰	۴/۰۱	۵/۶۸	S12 شیب (درصد)
۰/۲۴	-۰/۷۸	۰/۱۵	۳/۰۳	۲/۳۷	۲/۶۷	۲/۶۹	Dt بعد فرکتال ذرات خاک
۱/۷۰	۲/۵۶	۳۹/۶۳	۲۶۵/۸۳	۸۵/۴۳	۱۲۳/۶۲	۱۳۶/۲۱	C1 بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)
۰/۳۷	-۱/۱۸	۰/۰۳	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۷	C2 فصلی بودن بارش
۰/۱۵	۰/۰۱	۲۰۳/۹۶	۲۸۳۹/۳۰	۱۹۱۰/۴۲	۲۳۵۶/۸۱	۲۳۹۳/۱۴	C4 تبخیر (میلی‌متر)
۰/۱۳	-۰/۳۲	۲/۷۱	۱۹/۵۸	۸/۲۲	۱۴/۲۴	۱۴/۰۷	C5 متوسط دمای سالانه (درجه سانتیگراد)
۰/۲۶	-۰/۴۸	۷۴/۳۵	۳۲۹/۶۳	۱۹/۶۰	۱۴۷/۳۳	۱۵۲/۸۷	C6 خشکی
-۰/۴۲	-۰/۹۲	۰/۲۹	۳/۴۰	۲/۳۰	۲/۹۰	۲/۸۹	C7 سرعت باد (متر بر ثانیه)
۱/۴۸	۱/۶۳	۴۹/۱۶	۲۲۱/۶۰	۳/۱۶	۲۶/۸۵	۴۹/۵۳	H1 هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ثانیه)
۱/۶۱	۲/۵۳	۲/۴۰	۱۲/۲۹	۰	۰/۶۶	۱/۸۶	H2 حداکثر ارتفاع هرزآب (سانتی‌متر)
۰/۴۳	-۱/۰۰	۱۹/۱۸	۶۷	۰/۱۰	۲۰	۲۳/۴۸	V1 پوشش تاجی (درصد)
۰/۴۹	-۰/۷۵	۳۱۹/۲۱	۱۲۸۰	۵/۰۰	۳۷۰	۴۲۴/۰۹	V2 تولید گیاهی (کیلوگرم در هکتار در سال)
۱/۵۹	۲/۹۳	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۹	V3 شاخص NDVI



شکل ۴- مدل معادلات ساختار نهایی در این پژوهش پس از اجرا و اصلاح

متغیرهای آشکار مناسب و طراحی مدل ساختاری نزدیک به واقعیت اکولوژیک منطقه است.

طبق نتایج ارائه شده در شکل ۵ متغیرهای درجه حرارت، خشکی و سرعت وزش باد تقریباً به‌طور یکسان بیشترین سهم را در تبیین متغیر پنهان اقلیم داشته‌اند. در سازه پوشش گیاهی، میزان تولید گیاهی (V1) بیش از دو متغیر دیگر (درصد پوشش تاجی و NDVI) وضعیت پوشش گیاهی منطقه را توصیف می‌نماید. در سازه خاک‌شناسی، حداکثر ارتفاع هرزآب (H2) با بار عاملی ۰/۹۱ و پس از آن درصد رس خاک، مهمترین عوامل تعیین کننده شرایط خاک منطقه هستند که می‌توانند تغییرات خاک را در سطح منطقه مورد مطالعه به خوبی تشریح نمایند. همچنین ارتفاع نیز در مقایسه با شیب زمین، تغییرات توپوگرافی منطقه را بهتر نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از ارزیابی روایی، پایایی و برازش مدل PLS-SEM ارائه شده حکایت از پایداری قابل قبول مدل داشت (جدول ۶).

با توجه به مقادیر شاخص‌های ارزیابی در جدول بالا، روایی و پایایی سازه‌های پنهان در مدل ارائه شده تأیید شد. همانگونه که مشخص است سازه پوشش گیاهی بهتر از دیگر سازه‌ها تبیین شده و متغیرهای آشکار مناسب‌تری آن را تعریف نموده‌اند. برازش مدل با استفاده از سه شاخص مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقادیر شاخص‌های مقادیر اشتراکی،  $R^2$  و نکویی برازش در جدول ۵، برازش مدل در هر سه بخش اندازه‌گیری، ساختاری و حالت کلی قوی ارزیابی شد. بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی، مدل PLS-SEM ارائه شده در این پژوهش از دقت بالایی برخوردار بوده و قابل قبول است. این امر مؤید انتخاب

جدول ۶- شاخص‌های روایی، پایایی و برازش مدل PLS-SEM

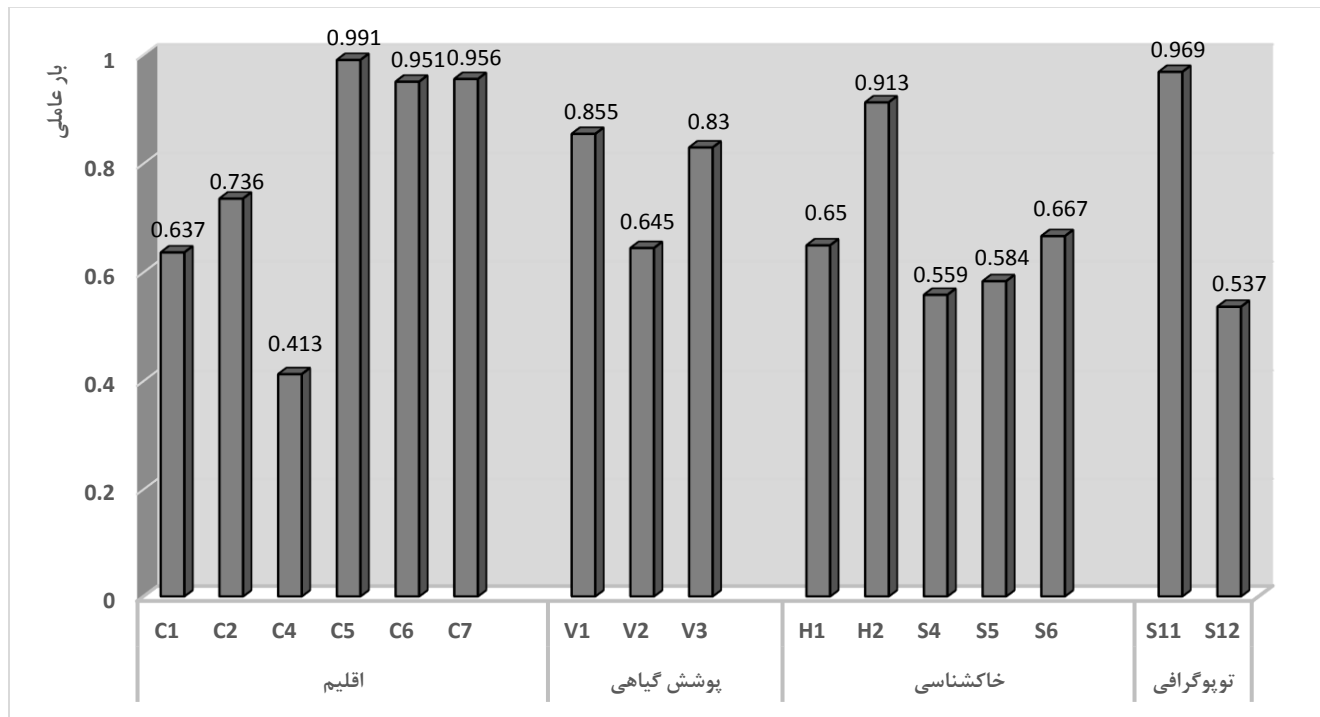
متغیرهای پنهان				مقدار قابل قبول	شاخص	نوع آزمون	
توپوگرافی	خاک‌شناسی	پوشش گیاهی	اقلیم				
۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۶۵	> ۰/۵	AVE	روایی	پایداری مدل
۰/۶۹	-۰/۶۸	۰/۸۳	-۰/۷۱	> ۰/۷	آلفای کرونباخ	پایایی	
۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۸۲	۰/۶۵	> ۰/۶ یا ۰/۷	پایایی ترکیبی		
۰/۵۸	۰/۵	۰/۶۵	۰/۵۲	> ۰/۵	مقادیر اشتراکی (CR)	مدل اندازه‌گیری	
-	۰/۳۲۷	۰/۴۷	۰/۸۵	> ۰/۶۷ (برازش خوب)	ضریب تشخیص (R <sup>2</sup> )	مدل ساختاری	برازش مدل
				> ۰/۳۳ (برازش متوسط)			
				> ۰/۱۹ (برازش ضعیف)			
	۰/۴۹			> ۰/۳۶ (برازش خوب)	نکویی برازش (GoF)	مدل کلی	
				> ۰/۲۵ (برازش متوسط)			
				< ۰/۰۱ (برازش ضعیف)			

مناسب این سازه است. مقادیر آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی هر دو به اتفاق، پایایی بیشتر سازه پنهان پوشش گیاهی و پس از آن توپوگرافی را در مقایسه با دیگر سازه‌ها نشان می‌دهد. در واقع پایایی مدل بررسی می‌کند که اگر موقعیت نمونه‌ها و جمع‌آوری داده‌ها در واحدهای دیگر با شرایط یکسان انجام شود، آیا باز هم نتایج یکسان خواهد بود یا خیر. لازم به ذکر است که پایایی ترکیبی، شاخص مناسب‌تری برای ارزیابی پایایی مدل است که سازه‌های پنهان را با توجه به میزان پایایی‌شان اولویت‌بندی می‌نماید (Henseler et al., 2016). در مجموع و با توجه به شاخص‌های ارزیابی مدل، سازه پوشش گیاهی دقیق‌تر و معتبرتر از دیگر سازه‌های طراحی شده است. برازش مدل ساختاری طراحی شده نیز با توجه به ضرایب تشخیص R<sup>2</sup>

در شکل ۵ بارهای عاملی مربوط به هریک از متغیرهای آشکار به تفکیک سازه‌های پنهان با هم مقایسه شده است. همانطور که در شکل نیز به وضوح مشخص است، مقادیر کلیه بارها بیش از ۰/۴ بود که حد قابل قبول بارهای عاملی در مدلسازی معادلات ساختاری است. شاخص AVE (جدول ۶) روایی همگرا را برای یک متغیر پنهان مورد ارزیابی قرار می‌دهد، در واقع متوسط مربع بارهای عاملی یک سازه یا متغیر پنهان است (Hair Jr et al., 2014). مقادیر این شاخص که میزان همبستگی یک متغیر پنهان را با متغیرهای آشکارش بررسی می‌کند، چهار مدل اندازه‌گیری را معتبر توصیف نمود. با وجود این میزان اعتبار سازه پنهان اقلیمی بیش از دیگر مدل‌ها ارزیابی شد. انتخاب متغیرهای مناسب که شرایط اقلیمی منطقه را بهتر نشان داده‌اند، از دلایل اعتبار

PLS-SEM برابر با ۰/۴۹ محاسبه شده است، برازش مناسب و دقیق این مدل را نشان می‌دهد.

برای سازه پنهان اقلیم بهتر است. بدین معنی که روابط متغیر پنهان اقلیم با دیگر متغیرهای پنهان خوب و قابل قبول تعریف شده است. شاخص نکویی برازش که برای کل مدل



شکل ۵- مقایسه بارهای عاملی متغیرهای آشکار در مدل اجرا شده در پژوهش

یک اکوسیستم هستند. عوامل غیرزنده یک اکوسیستم به‌عنوان کنترل‌گر در جوامع گیاهی، این دو عامل، به‌ویژه آب قابل دسترس را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تحقیق در رابطه با عوامل مؤثر بر رشد گیاه، هنوز یکی از پرطرفدارترین زمینه‌های تحقیقاتی برای اکولوژیست‌هاست. در این تحقیق، تأثیر عوامل اقلیمی، خاک‌شناسی و برخی پارامترهای محیطی بر پوشش گیاهی، به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تعیین‌کننده محل استقرار و میزان رشد گیاهان بررسی شد. بدین‌منظور با استفاده از تکنیک PLS-SEM که یکی از روش‌های مدلسازی آماری است، روابط بین متغیرهای محیطی و همچنین اثر آنها

## بحث

اکوسیستم جامعه‌ای از موجودات زنده است که در ارتباط با اجزای غیرزنده محیط خود، به صورت یک سیستم عمل می‌کند. علاوه بر دو جزء زنده و غیرزنده که مؤلفه‌های اصلی اکوسیستم هستند، روابط بین این دو جزء، مؤلفه سوم این سیستم محسوب می‌شود. این روابط در واقع شامل جریان‌های انرژی، مواد و اطلاعات در سیستم هستند (Christian, 2009). گیاهان به‌عنوان جزء زنده و تولیدکننده یک اکوسیستم نقش مهمی در چرخه انرژی و مواد غذایی ایفا می‌کنند. آب و مواد غذایی، عناصر اصلی تعیین‌کننده محل استقرار و رشد گیاه در



کاسته شود، از میزان یکنواختی و تراکم پوشش گیاهی کاسته شده و به تبع آن میزان تولید گیاهی نیز کاهش می‌یابد. اثر دما بر میزان رشد گیاه تا حد زیادی از طریق رابطه آن با مقدار آب قابل دسترس اعمال می‌شود. میزان تولید و تراکم پوشش گیاهی علاوه بر میزان بارش به میزان تبخیر و تعرق سالانه و دما نیز وابسته است. درجه حرارت متوسط سالانه، خشکی و سرعت باد سه متغیری هستند که به دلیل داشتن بار عاملی بالاتر، نقش مؤثرتری در تبیین اقلیم منطقه ایفا می‌کنند. بار عاملی بارش سالانه و فصلی بودن بارش، منفی برآورد گردید. به این معنی که عملکردشان معکوس عملکرد دیگر متغیرهای اقلیمی است. سرعت بالای باد، خشکی هوا و درجه حرارت بالا که از ویژگی‌های اقلیمی مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی محسوب می‌شوند، همگی اثر مخرب و کاهنده بر پوشش گیاهی دارند. خشکی ذاتی منطقه و درجه حرارت بالا که عوامل تعیین کننده در سازه اقلیمی بودند، از موانع اصلی رشد و توسعه پوشش گیاهی و در واقع عامل کنترل کننده آن محسوب می‌شوند. اگرچه نقش بارش در تأمین آب مورد نیاز گیاه حائز اهمیت است، اما بارش اندک و فصلی و همچنین خشکسالی‌های پی‌درپی که در سال‌های اخیر رخ داده، موجب شده که نقش کلیدی بارش در این زمینه کمرنگ شده و درجه حرارت و سرعت باد که خود موجب خشکی بیشتر محیط و افزایش تخریب می‌شود، جایگزین بارش شده و تعیین کننده باشد. در واقع این عوامل معرف بهتری برای اقلیم منطقه هستند. در منطقه مورد مطالعه، بافت خاک و توانایی آن برای حفظ رطوبت، خصوصیات خاک را بخوبی تشریح می‌کنند. خاک‌ها اغلب سبک تا متوسط و از انواع شنی، لومی شنی و شنی لومی هستند. قابلیت نگهداری آب در این دسته از خاک‌ها به دلیل نفوذپذیری بالا و کمبود مواد آلی و رس در خاک، محدود است و بارش نازل شده به سرعت از دسترس خارج می‌شود. میزان مواد آلی خاک و پارامترهای شیمیایی مانند شوری و قلیائیت خاک در سطح منطقه مورد مطالعه

بر پوشش گیاهی منطقه، با توجه به مطالعات قبلی و شرایط عرصه مورد مطالعه، مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد. در نهایت با محاسبه بار عاملی و ضرایب مسیر مدل، اصلی‌ترین عواملی که بر پوشش گیاهی مؤثرند، تعیین شدند. نتایج حاصل از ارزیابی روایی، پایایی و برازش مدل، دقت مدل را قابل قبول توصیف نمودند که حکایت از آن دارد که پیش‌بینی مدل به شرایط اکولوژیک منطقه نزدیک بوده است. سازه پنهان پوشش گیاهی با استفاده از سه متغیر تولید گیاهی، درصد پوشش تاجی و شاخص NDVI تبیین شده است. متغیرهای درصد پوشش تاجی و شاخص NDVI، با توجه به بار عاملی بیشتر، تأثیر بیشتری در توصیف پوشش گیاهی منطقه داشته‌اند. با توجه به این گونه‌های گیاهی در منطقه که اغلب از نوع درمنه و بوته‌ای‌های ریزبرگ هستند، میزان تولید در حدی بالا نیست که بتواند معرف پوشش گیاهی منطقه باشد. از این رو درصد پوشش تاجی در وهله اول و پس از آن شاخص NDVI متغیرهای مناسب‌تری برای تبیین این سازه هستند. شاخص NDVI فعالیت‌های فتوسنتزی برگ گیاه را برآورد نموده و از کاربردی‌ترین شاخص‌های سنجش از دور برای پایش وضعیت گیاهان موجود و تراکم آنهاست. بر مبنای طبقه‌بندی دومارتن، منطقه مورد مطالعه تحت اقلیم‌های فراهشک، خشک و نیمه خشک قرار دارد. مشخصه بارز اقلیم این نواحی بارش اندک و فصلی، تبخیر بالا، درجه حرارت بالا در روز و افت دما در شب است. گیاهان برای فتوسنتز و انتقال مواد نیازمند آب هستند. قابل دسترس بودن آب برای رشد گیاه در بسیاری از مناطق حیاتی است. آب مهمترین عامل محدود کننده رشد گیاه در منطقه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه شمال و جنوب است (Churkina & Running, 1998). درجه حرارت مناسب، مقدار و پراکنش نزولات جوی، در اغلب موارد تعیین کننده مناطق استقرار و رشد گیاه هستند. بارش زیاد و توزیع یکنواخت آن در فصل رویش، منجر به ایجاد پوشش گیاهی متراکم می‌شود. البته هرچه از میزان بارش و یکنواختی آن

شاخص NDVI و دما و بارش در سطح جهانی حکایت از آن داشت که افزایش NDVI در عرض‌های جغرافیایی میانی نیمکره شمالی تحت تأثیر افزایش دما و کاهش NDVI در مناطق نیمه‌خشک عرض‌های پایین مربوط به کاهش بارش بوده است (Ichii *et al.*, 2002). در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلف بر پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک PLS-SEM مورد ارزیابی قرار گرفت. مزیت این روش بر دیگر روش‌های رگرسیونی، در نظر گرفتن کلیه متغیرهای مؤثر بر یک پدیده و تجزیه و تحلیل همه آنها به‌طور همزمان است. تأثیر متغیرهای اقلیمی، خاک‌شناسی و توپوگرافی به‌طور همزمان بر روی پوشش گیاهی مدلسازی شد و طبق نتایج حاصل تأثیر عوامل خاک‌شناسی و اقلیمی، با توجه به شرایط حاکم بر مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان منفی برآورد گردید. به‌عبارت دیگر شرایط اکولوژیک منطقه برای رشد و توسعه پوشش گیاهی چندان مناسب نبوده است. در این عوامل اقلیمی تأثیر بیشتری بر وضعیت پوشش گیاهی داشته است. Azarnivand و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر خصوصیات خاک و تغییرات ارتفاع را بر دو گونه *A. siebri* و *A. aucheri* در مراتع گرمسار و سمنان مورد بررسی قرار داده و خصوصیات ماده آلی، نیتروژن خاک، بافت و گچ خاک را به عنوان مهمترین و مؤثرترین عوامل بر پوشش گیاهی معرفی کردند. در مطالعات مذکور، تأثیر پارامترهای شیمیایی خاک بر ویژگی‌های گیاه بیش از دیگر عوامل بود. حال آنکه در این مطالعه ویژگی‌های فیزیکی خاک (بافت خاک) تأثیرگذارتر از دیگر خصوصیات خاک ارزیابی شد. در مطالعه دیگری که به منظور بررسی تأثیر عوامل محیطی بر پوشش گیاهی انجام شد، پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی و خاک در سه بخش از حوزه آبخیز مورد مطالعه قرار گرفت. بارش در تمامی حوزه‌ها، عامل مؤثر غالب بود. در حوزه‌های بالادست ارتفاع و در حوزه‌های میانی و پایین‌دست عوامل خاک‌شناسی علاوه بر بارش عامل مؤثر بر پوشش گیاهی معرفی شدند (Yuan *et al.*, 2019).

بسیار متغیر است، از این رو نمی‌تواند متغیر مناسبی برای تبیین خاک منطقه باشند و بدین لحاظ از مدل نهایی حذف شدند. تأثیر توپوگرافی بر پارامترهای اقلیمی به وسیله محققان بسیاری بررسی شده است. پستی و بلندی شدت و پراکنش بارش را تعیین می‌کند. بارش‌های اوروگرافیک نتیجه مستقیم تأثیر توپوگرافی بر جهت و قدرت جریان‌های هوا هستند (Houze, 2012). از آنجا که اقلیم منطقه با درجه حرارت و سرعت وزش باد تبیین شده است، اثر توپوگرافی بر روی آن با ضریب مسیر منفی نشان داده شده است. به‌عبارتی شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه تا حد زیادی تابع پستی و بلندی‌های موجود در آن است. با افزایش ارتفاع، درجه حرارت محیط و همچنین سرعت وزش باد (به دلیل ایجاد موانع) کاهش می‌یابد (Tsai *et al.*, 2018). ضریب مسیر منفی بین سازه‌های توپوگرافی و اقلیم نیز به دلیل همین رابطه معکوس بین پارامترها ایجاد شده است. Tsai و همکاران (۲۰۱۸) شواهدی را در تحقیق خود ارائه کردند مبنی بر اینکه تعاملات بین بادهای موقتی متغیر که موجب حرکات یک سیستم کم فشار بر روی یک توپوگرافی خاص می‌شوند، عامل مهمی برای تعیین توزیع و شدت بارش است. درصد پوشش تاجی و شاخص NDVI در مقایسه با میزان تولید گیاهی توانایی بیشتری در تبیین وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. به‌طوری‌که تأثیر پارامترهای اقلیمی و یا خاک‌شناسی بر روی شاخص NDVI به‌طور مجزا و به‌عنوان شاخصی که نمایانگر پوشش گیاهی است، در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات انجام شده در زمینه اقلیم اغلب رابطه پوشش گیاهی با بارش، دما و تغییرات اقلیمی را مورد بررسی قرار داده است (Gao *et al.*, 2017; Huete, 2016; Suescún *et al.*, 2017). نتایج حاصل از مطالعات مذکور نشان داد که پوشش گیاهی و به‌ویژه شاخص NDVI اغلب با تأخیر زمانی یک تا دو ماهه از بارش تبعیت می‌کنند (Yuan *et al.*, 2019). علاوه بر این تحقیق بررسی ارتباط بین

توجه قرار گیرد.

### منابع مورد استفاده

- Anderson, R. G. and Goulden, M. L., 2011. Relationships between climate, vegetation and energy exchange across a montane gradient, 116: 81-94.
- Azarnivand, H., Jafari, M., Moghaddam, M. R., Jalili, A. and Zare chahouki, M. A., 2003. The effects of soil characteristics and elevation on distribution of two *Artemisia* species (Case study: Vard avard, Garmsar and semnan rangelands, 56 (1 -2): 93 - 100.
- Bagnouls, F. and Gaussen, H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de géographie*, 355:193-220.
- Blake, G. R. and Hartge, K. H., 1986. Bulk density. 363-375: In A. Klute (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 1—physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, USA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>.
- Chang, W. Y. B., 1981. Path analysis and factors affecting primary productivity. *Journal of Freshwater Ecology*. 1(1):113-120.
- Chepil, W. S., 1958. Soil conditions that influence wind erosion. U.S. Dept. of Agriculture, Washington DC, USA.
- Chin, W. W., 1998. The partial least squares approach for structural equation modeling. 295-336: In G. A. Marcoulides (Ed.), *Methodology for business and management*. Modern methods for business research Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ, US.
- Christian, R. R., 2009. Concepts of ecosystem, level and scale. 504-505: In A. Bodini & K. Stefan (Eds.), *Ecology* Eolss Publishers, Oxford, UK.
- Churkina, G. and Running, S. W., 1998. Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes. *Journal of Ecosystems* 1(2):206-215.
- Cook, W. and Stubbendieck, J., 1986. *Range research: Basic problems and techniques*. Society for Range Management, Colorado, USA.
- De Martonne, E., 1941. Une nouvelle fonction climatologique : L'indice d'aridite. *Journal of Meteorologie*, 2:449-459.
- Eisenhauer, N., Bowker, M. A., Grace, J. B. and Powell,

محققان چینی در تحقیق دیگری با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره، همبستگی پارامترهای محیطی را با پوشش گیاهی ارزیابی نمودند. بازتابش جوی و پس از آن عوامل خاک‌شناسی مهمترین پارامترهای مؤثر بر پوشش گیاهی بودند (Gao *et al.*, 2017). Jafari-Parizi و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی که در درمنه‌زارهای اصفهان انجام دادند، ارتفاع، میزان سنگریزه، اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد رطوبت وزنی را به‌عنوان مؤثرترین عوامل در پراکنش پوشش گیاهی معرفی نمودند. به‌طوری‌که می‌توان روش تجزیه و تحلیل تطبیقی متعارف را به‌منظور تعیین مؤثرترین عوامل به‌کار برد. تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های پی در پی در سال‌های اخیر قابلیت دسترسی به آب گیاهان را به شدت تحت تأثیر قرار داده و موجب خشکی و از بین رفتن توان اکولوژیک منطقه شده است. بارش کم، تبخیر بالا و وزش باد که موجب بالا رفتن تبخیر و خشکی هوا می‌شود، همگی از عوامل اقلیمی هستند که تأمین آب مورد نیاز گیاهان را با مشکل مواجه می‌کنند. خاک سبک و فقیر از نظر مواد آلی که از جنبه قابلیت نگهداری آب و مواد غذایی ضعیف است، بستر مناسبی برای استقرار بذر و رویش جوانه و به‌دنبال آن رشد گیاه فراهم نمی‌کند و علاوه‌براین پوشش گیاهی موجود نیز تحت شرایط خشکسالی بیش از پیش ضعیف و شکننده می‌شود. کاهش تولید و به‌دنبال آن پوشش تاجی گیاه وضعیت مراتع را به سمت مراتع متوسط و فقیر سوق داده است که تحت چرای مفرط دام قرار دارند.

تعداد زیاد دام و چرای بیش از موعد، عملیات شخم و تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی و غیره نیز مزید بر علت شده و روند تخریب را سرعت بخشیده است. از آنجا که آمار و اطلاعات دقیقی از میزان چرای مفرط و دام‌مازاد بر ظرفیت در سطح مراتع استان در دسترس نیست، از این‌رو در این پژوهش از پرداختن به این موضوع صرف‌نظر شده است. باوجوداین نقش پررنگ عوامل انسانی در این زمینه باید مورد

- gravels, with special reference to their use in filtration. Retrieved from Boston.
- Henseler, J., Hubona, G. and Ray, P. A., 2016. Using PLS path modeling in new technology research: updated guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 116(1): 2-20.
- Henseler, J., Ringle, C. M. and Sinkovics, R. R., 2009. The use of partial least squares path modeling in international marketing. In *New challenges to international marketing* (pp. 277-319): Emerald Group Publishing.
- Houze, R. A., 2012. Orographic effects on precipitating clouds, 50, RG1001.
- Huete, A., 2016. Vegetation's responses to climate variability. *Journal of Nuture*, 531, 181.
- Hulland, J., 1999. Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: a review of four recent studies *Strategic Management Journal*, 20(2):195-204.
- Ichii, K., Kawabata, A. and Yamaguchi, Y., 2002. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982–1990. 23(18):3873 - 3878.
- Jafari-Parizi, M., Afsharzadeh, S., Akafi, H. and Abbasi, S., 2014. Ecological study of *Artemisia aucheri* communities in three rangelands of Isfahan province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 2(4):79-94.
- Lam, T. Y. and Maguire, D. A., 2012. Structural equation modeling: Theory and Applications in Forest Management. *International Journal of Forestry Research*, 16 pages, <https://doi.org/10.1155/2012/263953>.
- Langbein, W. B. and Schumm, S. A., 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions, American Geophysical Union*, 39(6): 1076-1084.
- Le Bagousse-Pinguet, Y., Maalouf, J., Touzard, B. and Michalet, R., 2014. Importance, but not intensity of plant interactions relates to species diversity under the interplay of stress and disturbance. *Journal of Oikos*, 123(7):777-785.
- Maddox, G. D. and Antonovics, J., 1983. Experimental ecological genetics in *Plantago*: A Structural equation approach to fitness components in *P. Aristata* and *P. Patagonica*. *Journal of Ecology*, 64(5):1092-1099.
- Moradi, G. and Vacik, H., 2018. Relationship between vegetation types, soil and topography in southern forests of Iran. 29(6), 1635-1644.
- Nunnally, J. C. and Bernstein, I. H., 1994. *Psychometric theory* (3rd ed.). McGraw-Hill, Michigan, USA.
- Peng, Y., Mi, K., Qing, F. and Xue, D., 2016. J. R., 2015. From patterns to causal understanding: Structural equation modeling (SEM) in soil ecology. *Journal of Pedobiologia*, 58(2): 65-72.
- Fick, S. E. and Hijmans, R. J., 2017a. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International. Journal of Climatology*, 37(12): 4302-4315.
- Fick, S. E. and Hijmans, R. J., 2017b. WorldClim Version2. (Gridded climate data). Retrieved 12 September 2017, from The U.S. Government's Global Hunger and food Security Initiative <http://worldclim.org/version2>.
- Fölster, H., Dezeo, N. and Priess, J. A., 2001. Soil–vegetation relationship in base-deficient premontane moist forest–savanna mosaics of the Venezuelan Guayana. *Journal of Geoderma*, 104(1): 95-113.
- Fornell, C. and Larcker, D. F., 1981. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1): 39-50.
- Gaitán, J. J., Oliva, G. E., Bran, D. E., Maestre, F. T., Aguiar, M. R., Jobbágy, E. G. and Massara, V., 2014. Vegetation structure is as important as climate for explaining ecosystem function across Patagonian rangelands. *Journal of Ecology*, 102(6):1419-1428.
- Gama-Rodrigues, A. C., Sales, M. V. S., Silva, P. S. D., Comerford, N. B., Cropper, W. P. and Gama-Rodrigues, E. F., 2014. An exploratory analysis of phosphorus transformations in tropical soils using structural equation modeling. *Biogeochemistry. Journal of Biogeochemistry*, 118(1-3): 453-469.
- Gao, N., Zhou, J., Zhang, X., Cai, W., Guan, T., Jiang, L. and Zheng, Y., 2017. Correlation between vegetation and environment at different levels in an arid, mountainous region of China. *Journal of Ecology and Evolution*, 7(14):5482-5492.
- George, D. and Mallery, P., 2003. *SPSS for windows step by step answers to selected exercises: A simple guide and reference* (4th ed.). Allyn & Bacon, Boston, USA.
- Grace, J. B., 2006. *Structural equation modeling and natural systems*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Hair Jr, J. F., Sarstedt, M., Hopkins, L. and Kuppelwieser, V. G., 2014. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research. *European Business Review*, 26(2):106-121.
- Hazen, A., 1893. Some physical properties of sands and

- the Pyeomgchang area seen from multiple-dropler radar observations. *Monthly Weather Review*, 146:3401 - 3424.
- Tyler, S. W. and Wheatcraft, S. W., 1990. Fractal processes in soil water retention. *Journal of Water Resources Research*. 26(5):1047-1054.
- Walkley, A., 1935. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. (With One Text-figure.). *The Journal of Agricultural Science*, 25(4): 598-609.
- Walsh, R. P. D. and Lawler, D. M., 1981. Rainfall seasonality: Description, spatial patterns and change through time. *Journal of Weather*, 36(7): 201-208.
- Wetzels, M., Odekerken, G. and Van Oppen, C., 2009. Using PLS path modeling for assessing Hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration. *MIS Quarterly*. 33(1):177-196.
- Wold, H. O. A., 1982. Soft modeling: The basic design and some extensions. 1-54: In K. G. Joreskog & H. O. A. Wold (Eds.), *Systems under indirect observation: Causality, structure, prediction*. North-Holland, Amsterdam, Netherlands.
- Yang, Y., Zhu, Q., Peng, C., Wang, H., Xue, W., Lin, G. and Li, S., 2016. A novel approach for modelling vegetation distributions and analysing vegetation sensitivity through trait-climate relationships in China. *Scientific Reports*, 6: 24110.
- Yuan, L., Chen, X., Wang, X., Xiong, Z. and Song, C., 2019. Spatial associations between NDVI and environmental factors in the Heihe River Basin. *Journal of Water*, 29(9):1548-1564.
- Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agro-pastoral ecotone. *Journal Ecosystem Health and Sustainability*, 124: 249-256.
- Rabbi, S. M. F., Tighe, M., Delgado-Baquerizo, M., Cowie, A., Robertson, F., Dalal, R. and Baldock, J., 2015. Climate and soil properties limit the positive effects of land use reversion on carbon storage in Eastern Australia. *Scientific Reports*. 5, 17866.
- Richards, L. A., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (Vol. 60). Agricultural Research Service, Soil and Water Conservation Research Branch Washington, USA.
- Rousseeuw, P. J. and Van Zomeren, B. C., 1990. Unmasking multivariate outliers and leverage points. *Journal of the American Statistical association*, 85(411): 633-639.
- SCS, 1972. Section 4: Hydrology. In V. Mockus (Ed.), *National engineering handbook: USDA/NRCS*, Washington DC.
- Skaggs, T. H., Arya, L. M., Shouse, P. J. and Mohanty, B. P., 2001. Estimating particle-size distribution from Limited Soil Texture Data. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4):1038-1044.
- Suescún, D., Villegas, J. C., León, J. D., Flórez, C. P., García-Leoz, V. and Correa-Londoño, G. A., 2017. Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 17(3):827-839.
- Tsai, C., Kim, K., Liou, Y., Lee, G. and Yu, C., 2018. Impacts of topography on airflow and precipitation in

## The effective climatic and pedological factors on vegetation cover in the steppe habitat of *Artemisia* sp.

L. Bakhshandehmehr<sup>1</sup>, M. R. Yazdani<sup>2\*</sup>, R. Jafari<sup>3</sup> and S. Soltani<sup>4</sup>

1- Ph. D. Candidate in Combat Desertification, Combat Desertification Group, Department of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

2\*- Corresponding author, Associate Professor, Combat Desertification Group, Department of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran, Email: m\_yazdani@semnan.ac.ir

3-Associate Professor, Range and Watershed Management Group, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4-Professor, Range and Watershed Management Group, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: 07/03/2019

Accepted: 09/13/2019

### Abstract

Research on the environmental controllers in plant communities is one of the research fields for many ecologists. Identifying the factors affecting the vegetation cover in the arid regions is the first step to recognize the destructive factors, which inhibit the growth and development of vegetation. In the current study, using the structural equation modeling method and Partial Least Square – Structural Equation Modeling (PLS-SEM), climatic and pedological variables that affecting the vegetation cover in steppe rangelands of Zayandehrood basin of Isfahan province were identified and modeled. According to the results, soil clay content, maximum runoff height on the soil, temperature, and dryness of the environment are the most important variables affecting the quantity and quality of vegetation in the rangelands of the Zayandehrud basin. Besides, the role of climatic factors is more than soil factors in the distribution of vegetation in the region. The model presented in this research has good accuracy and high flexibility for modeling ecological phenomena.

**Keywords:** Vegetation cover, partial least square, structural equation modeling, validity, reliability.