# مدل‌سازی زی‌توده گیاهی توسط پارامترهای خاک در مراتع هیر- نئور، استان اردبیل

اردوان قربانی[۱*]، مهدی معمری[۲]، فرید دادجو[۱] و لیدا عندلیبی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۵)

**چکیده**

**هدف این تحقیق مدل‌سازی زی‌توده گیاهی فرم‌های رویشی و کل توسط پارامترهای خاک در مراتع هیر- نئور استان اردبیل بود. ابتدا با درنظر گرفتن تیپ‌های گیاهی و عوامل محیطی، در مرحله اوج رویش گیاهان، زی‌توده گیاهی با استفاده از پلات‌های یک مترمربعی به‌روش قطع و توزین برداشت شد. در امتداد هر یک از ترانسکت‌ها یک نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل و برخی خصوصیات آن با روش‌های متداول اندازه‌گیری شد. با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه توسط عوامل خاک، معادله پیش‌بینی زی‌توده فرم‌های رویشی و کل سطح مراتع استخراج و نقشه‌های مربوطه شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج، پارامترهای سیلت، هدایت الکتریکی، کلسیم، پتاسیم محلول، کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای، pH، منیزیم، آهک، رس، فسفر و رطوبت حجمی بیشترین اثرگذاری و درصد پیش‌بینی را داشتند (P<۰/۰۱). صحت نقشه‌های شبیه‌سازی شده نیز با استفاده از معیار RMSE برای گندمیان، پهن‌برگان علفی، بوته‌ای‌ها و کل به‌ترتیب ۰/۸۱، ۰/۶۵، ۰/۳۴ و ۰/۴۶ محاسبه شد. یافته‌های این تحقیق نه تنها به اهمیت عوامل خاک بر تغییرات زی‌توده مراتع اشاره دارد، بلکه به‌عنوان اطلاعات پایه برای مدیریت مراتع در راستای ایجاد حالت تعادل در میزان عرضه و تقاضای انرژی و توازن کربن اکوسیستم قابل استفاده است.**

**واژه‌های کلیدی: زی‌توده، فرم‌رویشی، شبیه‌سازی، رگرسیون خطی، معادله پیش‌بینی**

۱. گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲ گروه گیاهان دارویی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a_ghorbani@uma.ac.ir

**مقدمه**

مدیریت صحیح مراتع بر پایه اصول اکولوژیک بوده و درک فرایندهای آن یکی از پیش‌شرط‌های مهم مدیریت مراتع است، بنابراین با توجه به اینکه درصد اعظم مساحت ایران را اکوسیستم‌های مرتعی تشکیل داده‌اند و به‌دلیل نادیده گرفتن توان اکولوژیک و بهره‌برداری نادرست در معرض تخریب قرار دارند، بنابراین به‌منظور مدیریت صحیح باید ارتباط بین عوامل بوم‌شناختی موجود در طبیعت شامل عوامل پستی‌وبلندی، اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و موجودات زنده را شناخت (۲۲). یکی از راه‌کارها، مدل‌سازی اکوسیستمی توسط پارامترهای مختلف عوامل محیطی است که سبب مدیریت بهتر وضعیت آینده مراتع، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک خواهد شد (۲۳). با توجه به اینکه پارامترهای مختلف خاک تحت تأثیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل پستی‌وبلندی و اقلیمی تغییر می‌کنند، بنابراین عوامل ذکر شده اثرات عمده‌ای بر جوامع گیاهی می‌گذارند (۷). ویژگی‌های مختلف خاک اعم از فیزیکی و شیمیایی نقش مؤثری در تغییرات مراتع و ویژگی‌های پوشش گیاهی مانند زی‌توده دارد و از طرفی دیگر پوشش گیاهی نیز نقش مؤثری در تغییر و توسعه خاک‌ها دارند (۲). از این‌رو مطالعه همزمان عوامل گیاهی و محیطی می‌تواند نتایج مطلوب‌تری داشته باشد.

در زمینه ارتباط خاک و پوشش گیاهی، به‌خصوص تنوع و انتشار گونه‌های گیاهی مطالعات قابل توجهی انجام شده است. به‌طور مثال، نیوز و همکاران (۱۸) خصوصیات خاک و عوامل پستی‌وبلندی را روی رشد و پراکنش طبیعی گیاهان در اسپانیای مرکزی بررسی و گزارش کردند عوامل هدایت الکتریکی، آب در دسترس و رطوبت خاک و pH از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر گیاهان هستند. عبدالزاده و همکاران (۱) با بررسی اثرات فسفر خاک بر رشد گیاهان گزارش‌کردند گونه‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی به مقدار فسفر خاک نشان دادند. روکارپین و همکاران (۲۱) تغییرات رطوبت و پارامترهای خاک را روی تغییرات گیاهان مناطق مدیترانه‌ای مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که با افزایش رطوبت خاک، گیاهان نیز افزایش می‌یابند. المجاهد و همکاران (۶) رابطه بین مواد آلی خاک و پوشش گیاهی را مورد بررسی و رابطه معنی‌داری بین عوامل ذکر شده و همچنین غنای‌گونه‌ای گزارش‌کردند. زارع چاهوکی و همکاران (۲۹) تأثیر عوامل توپوگرافی و خاک مؤثر بر گونه‌های گیاهی را در مراتع اشتهارد بررسی و گزارش‌کردند که از بین عوامل خاکی، سنگ‌ریزه، بافت، آهک و هدایت الکتریکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی منطقه بوده است. شکرالهی و همکاران (۲۲) ویژگی‌های خاک و عوامل فیزیوگرافی بر پوشش گیاهی را در مراتع ییلاقی پلور بررسی و گزارش کردند که از بین عوامل خاکی، بافت، فسفر، pH، لاشبرگ، مواد آلی و هدایت الکتریکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی هستند.

با این‌حال، رابطه خاک با مقدار زی‌توده اکوسیستم‌های طبیعی در مقایسه کمتر مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات در این زمینه محدود است. به‌طور مثال، تامی و همکاران (۲۵) روابط بین تولید اولیه، بارندگی و عوامل خاکی را در علفزارهای شیکوهاما بررسی و گزارش کردند رابطه معنی‌داری بین رطوبت خاک و تولید اولیه وجود دارد. یو و همکاران (۲۸) در تحقیق خود روابط بین تولید و فتوسنتز گیاهی و فسفر خاک را بررسی و گزارش کردند که رابطه معنی‌داری بین تغییرات فسفر و تولید گیاهان وجود دارد. قربانی و همکاران (۱۲) توسط عوامل محیطی، تولید اولیه سطح زمین مراتع قزل‌اوزن استان اردبیل را مدل‌سازی و بیان کردند که پارامترهای خاک تأثیرات بسزایی در تغییرات تولید اولیه مراتع منطقه دارد. قربانی و همکاران (۷) به مدل‌سازی تولید اولیه سطح زمین مراتع فندق‌لو در استان اردبیل پرداخته و رابطه معنی‌دار بین این دو عامل را گزارش کردند.

در ایران و استان اردبیل، ارتباط تولید بیشتر با پارامترهای اقلیمی (۵ و ۹) و توپوگرافی (۹، ۱۰ و ۱۹) مورد توجه قرار گرفته و با بررسی منابع، مشخص شد که در زمینه ارتباط خصوصیات خاک و تولید مطالعات اندکی انجام شده است.

مراتع هیر- نئور از جمله مراتع قابل توجه استان اردبیل و ایران بوده که شناخت محدودی در ارتباط با مقدار زی‌توده و عوامل تأثیرگذار در تغییرات آن وجود دارد. در این تحقیق با هدف مدل‌سازی زی‌توده فرم‌های رویشی و کل با پارامترهای خاک انجام شد تا علاوه بر مشخص کردن مقدار زی‌توده گیاهی و عوامل مؤثر وابسته به خاک، تغییرات مقدار زی‌توده فرم‌های رویشی اصلی و کل مراتع منطقه نیز مشخص شود. با انجام این مطالعات مدیریت و ایجاد توازن بین عرضه و تقاضای اکوسیستم مرتع و ایجاد حالت توازن کربن اکوسیستم میسر شده تا با در دست داشتن روابط و نقشه‌های شبیه‌سازی شده بتوان مدیریت بهتری را در جهت موارد ذکر شده اعمال کرد.

## مواد و روش

### منطقه موردمطالعه

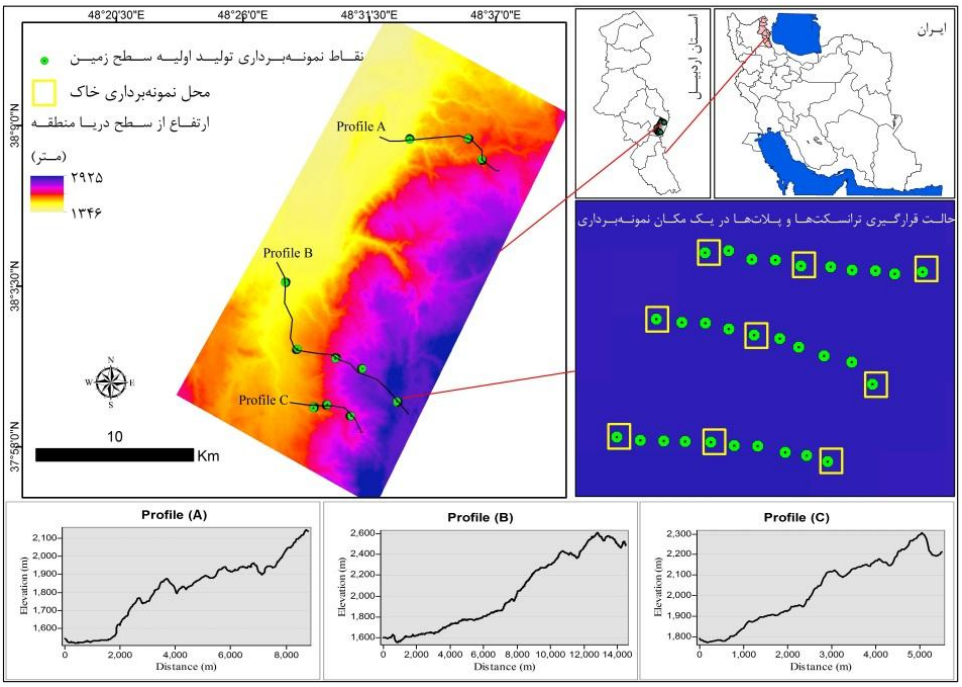
در این تحقیق مراتع کوهستانی هیر- دریاچه نئور واقع در شهرستان اردبیل، استان اردبیل در موقعیت جغرافیایی ´۵۹ °۳۷ تا ´۵ °۳۸ شمالی و ´۲۶ °۴۸ تا ´۳۵ °۴۸ شرقی در سطح اکوسیستم‌های مرتعی (۳) انتخاب شد (شکل ۱). با توجه به نقشه مدل رقومی ارتفاع، حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۳۴۶ متر و حداکثر ارتفاع آن ۲۹۲۵ متر از سطح دریا است. بر اساس گرادیان بارندگی استخراج شده از داده‌های ۲۵ ساله ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه مورد مطالعه، بارندگی سالیانه ۳۳۸ تا ۳۹۰ میلی‌متر و دمای ۶ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته در این مطالعه، بافت خاک لومی- رسی بوده و منطقه بیشتر متشکل از خاک حاصلخیز است (۴ و ۲۰). سیمای پوشش گیاهی منطقه به‌صورت علف- بوته‌زار است. بیش از ۹۵ درصد ترکیب دام را گوسفند و کمتر از ۳ درصد بز و سایر احشام حدود ۲ درصد بوده که فصل چرای از برف تا برف در سطح منطقه صورت می‌گیرد. گونه‌های غالب منطقه در ارتفاع ۱۳۴۶ تا ۱۹۰۰ متر *Bromus tectorum* L.، *Artemisia fragrans* Willd. و *Poa bulbosa* L.، در ارتفاع ۱۹۰۰ تا ۲۳۰۰ *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.، *Festuca ovina* L. و *Astragalus microcephalus* Willd. و در ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۹۲۵ متر *Festuca ovina* L.، *Onobrychis cornuta* (L.) Desv و *Bromus tomentellus* Boiss. است (۲۰).

### نمونه‌برداری زی‌توده گیاهی

برای انجام این تحقیق، با توجه به جاده دسترسی سه پروفیل ارتفاعی انتخاب شد که در هر پروفیل به‌ترتیب تعداد سه، پنج و سه (درمجموع ۱۱) مکان نمونه‌برداری (رویشگاه) تعیین شد (شکل ۱). در هر مکان سه ترانسکت با فاصله ۵۰ متری از هم که محل ترانسکت اول تصادفی، سپس به‌صورت سیستماتیک ترانسکت‌های بعدی در جهت عمود بر شیب در سطح مناطق کلید انتخاب شد. در هر ترانسکت تعداد ۱۰ پلات یک متر مربعی (در هر سایت ۳۰ پلات) با فواصل ۱۰ متری از هم به‌روش قطع و توزین برداشت شد (۳۳۰ پلات). ابعاد و تعداد پلات‌ها، با توجه به ساختار پوشش گیاهی و تعداد نمونه مورد نیاز و همچنین مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه و اطراف تعیین شد (۵، ۸، ۱۱، ۱۶ و ۳۰). عملیات میدانی در خردادماه ۱۳۹۶ انجام شد. موقعیت پلات‌ها با استفاده از GPS ثبت شد. ابتدا تولید گونه‌ها بر اساس فرم رویشی (گندمیان و پهن‌برگان علفی از یک سانتی‌متری سطح زمین و بوته‌ای‌ها رشد سال جاری) برداشت و پس از خشک شدن نمونه‌ها، توسط ترازوی دیجیتالی توزین و زی‌توده برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

### نمونه‌برداری و آزمایش خاک

با توجه به‌اینکه پستی‌وبلندی و اقلیم متفاوت اثرات مستقیم و غیرمستقیم روی پارامترها و بافت خاک می‌گذارند، بنابراین مکان‌های نمونه‌برداری شده در پروفیل‌های ارتفاعی مختلف، دارای خصوصیات خاکی متفاوتی خواهند بود؛ پس ضروری است که اثرات پارامترهای خاک در مکان‌های مختلف بر روی زی‌توده گروه‌های گیاهی بررسی شوند. از این‌رو برای




**شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح کشور و استان اردبیل**

هر یک از ترانسکت‌ها یک نمونه خاک (مخلوطی از پلات‌های ۱، ۵ و ۱۰) از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک (سطح ریشه‌دوانی) برداشت و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل و هواخشک شد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس pH خاک با دستگاه pH متر در گل اشباع، هدایت الکتریکی با EC سنج در عصاره گل اشباع، رطوبت وزنی اشباع با اندازه‌گیری اختلاف وزن بین خاک تر و خشک در آون، سدیم و پتاسیم محلول با دستگاه فلیم‌فتومتر، پتاسیم تبادلی به‌روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم با دستگاه فلیم‌فتومتر، فسفر قابل جذب به‌روش اولسن با دستگاه اسپکتروفتومتر، درصد کربنات کلسیم معادل (TNV) به‌روش تیتراسیون، کربن آلی به‌روش سوزاندن تر و الکلی‌وبلک، کربن آلی ذره‌ای نیز به‌روش سوزاندن تر و الکلی‌بلک، مواد آلی و مواد آلی ذره‌ای نیز از روی کربن آلی و کربن آلی ذره‌ای، کلسیم و منیزیم به‌روش تیتراسیون با EDTA و در سه مرحله انجام‌گرفت. بافت خاک (شن، سیلت و رس) به‌روش هیدرومتری دو قرائته اندازه‌گیری شد (۷ و ۲۶).

**تجزیه و تحلیل داده‌ها**

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون کلموگروف- اسمیرنوف انجام شد که داده‌ها به‌صورت نرمال بودند. همچنین بین متغیرهای مستقل (پارامترهای خاک) آزمون هم‌خطی انجام و چون هم‌خطی بین داده‌ها مشاهده نشد، برای مدل‌سازی، همه متغیرها در معادله رگرسیون مورد استفاده قرار گرفتند. سپس ارتباط مقدار هر یک از متغیرهای وابسته (زی‌توده فرم‌های رویشی و کل) با متغیرهای مستقل (رس، سیلت، شن، pH، هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، فسفر، آهک، کربن آلی، مواد آلی، کربن آلی ذره‌ای، مواد آلی ذره‌ای و رطوبت حجمی) با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه (با روش پس‌رو) بررسی‌شد (روش‌های مختلف مورد توجه بوده که بهترین نتایج با توجه به معنی‌داری و میزان هم‌بستگی داده‌ها، از این روش حاصل شد). معادله عمومی رابطه رگرسیون چندگانه برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته (زی‌توده) از روی متغیرهای مستقل (پارامترهای خاک) به‌صورت معادله ۱

بوده است که برای هر یک از فرم‌های رویشی و زی‌توده کل، با توجه به معنی‌داری عوامل مستقل استفاده شد:

$$Y=a+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+\ldots+b_nx_n \quad (۱)$$

در این رابطه Y مقدار پیش‌بینی شده متغیر وابسته، a مقدار ثابت، b ضریب رگرسیون، x مقادیر متغیرهای مستقل است.

درنهایت در محیط $ArcGIS_{10.0}$ ابتدا با استفاده از ابزار درونیابی Kriging اقدام به تهیه نقشه پارامترهای خاک و سپس توسط معادلات استخراج شده برای زی‌توده فرم‌های رویشی و کل، نقشه زی‌توده برای منطقه مطالعاتی شبیه‌سازی شد و صحت نقشه تهیه شده با استفاده از ۲۰ درصد باقی‌مانده نمونه‌ها و با استفاده از محاسبه معیار RMSE (ریشه میانگین مربع خطا)، توسط معادله ۲ بررسی شد. این شاخص هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که مقادیر برآورد شده توسط مدل، به مقادیر واقعی نزدیک‌تر و صحت بالا است. تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار $SPSS_{22.0}$ و تهیه نقشه و تجزیه‌وتحلیل مکانی با استفاده از $ArcGIS_{10.0}$ انجام شد.

$$RMSE= (\sqrt{\Sigma ni=1(Esi-Eoi)2})/n-1 \quad (۲)$$

که Esi مقدار برآورد شده نقطه i از طریق نقشه شبیه‌سازی شده، Eoi مقدار اندازه‌گیری شده زی‌توده (زمینی) و i و n تعداد داده‌ها است.

## نتایج

پارامترهای اندازه‌گیری شده از نمونه‌های خاک، به‌طور میانگین به‌تفکیک مکان‌های نمونه‌برداری، در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده شد که اثرات مکان‌ها روی پارامترهای کمی و عددی معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$).

جدول ۲ خلاصه مدل‌های رگرسیونی را نشان می‌دهد که در آن مقدار $R^2$ به همبستگی ساده بین دو متغیر (زی‌توده با پارامترهای خاک) اشاره دارد. مقدار R نیز نشان می‌دهد که چه مقدار از متغیر وابسته (زی‌توده)، می‌تواند توسط متغیر مستقل (پارامترهای خاک)، پیش‌بینی شود.

با توجه به نتایج جدول ۳ که نشان‌دهنده این است که آیا مدل رگرسیون می‌تواند به‌طور معنی‌داری تغییرات متغیر وابسته (زی‌توده) را پیش‌بینی کند، با توجه به ستون معنی‌داری آماری مدل رگرسیون مشاهده شد که بین زی‌توده کل و فرم‌های رویشی با پارامترهای خاک رابطه خطی و معنی‌دار وجود دارد. این نشان‌می‌دهد که مدل به‌کار رفته پیش‌بینی‌کننده خوبی برای متغیر زی‌توده با استفاده از پارامترهای خاک است.

با توجه به نتایج مدل رگرسیونی متغیرهای خاک در ردیف زی‌توده فرم رویشی گندمیان، پهن‌برگان علفی، بوته‌ای‌ها و کل، مشاهده شد هیچ‌یک از مقادیر ß صفر نبود، بنابراین همه عوامل مورد بررسی در مقدار زی‌توده مؤثر بوده‌اند. با توجه به سطح معنی‌داری پارامترهای خاک در پیش‌بینی زی‌توده، با استفاده از معادله‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب زی‌توده گندمیان، پهن‌برگان علفی، بوته‌ای‌ها و کل قابل محاسبه است که نقشه‌های شبیه‌سازی شده توسط معادلات عنوان شده در شکل ۲ ارائه شده است.

$$Y_{Grasses} = ۱۹۶ + ۳/۴۷\ Silt + ۶۴/۶\ EC + ۱۴/۲\ Ca + ۵/۲۶\ K_{Soluble} - ۲۰۰\ OC + ۶۶/۴\ POC \quad R^2=۰/۵۸ \quad (۳)$$

$$Y_{Forbs} = ۳۷۶ - ۳/۹۷\ Clay + ۱۱۸\ pH - ۷۱/۵\ EC + ۱۳/۳\ Ca - ۷۰/۱\ Mg - ۲۴/۴\ TNV - ۳۰۰\ OC + ۱۱۰\ POC \quad R^2=۰/۵۵ \quad (۴)$$

$$Y_{Shrubs} = ۳۱۵۷ - ۲۸۴\ pH - ۱۴۵\ EC - ۸۹۶\ P + ۱۴۱\ POC - ۲۳/۸\ VM \quad R^2=۰/۶۰ \quad (۵)$$

$$Y_{Total} = ۲۷۲۸ - ۱۳۰\ pH - ۱۹۱\ EC + ۱۹/۷\ Ca - ۳۶/۴\ Mg + ۱۰/۳\ K_{soluble} - ۱۱۱۴\ P - ۲۵۴\ OC + ۳۴۹\ POC - ۳۶/۸\ VM \quad R^2=۰/۶۳ \quad (۶)$$

که در این معادلات: Y: زی‌توده، Silt: سیلت، EC: هدایت الکتریکی، Ca: کلیسم، $K_{soluble}$: پتاسیم محلول، OC: کربن آلی، POC: کربن آلی ذره‌ای، pH: pH، Mg: منیزیم، TNV: آهک، Clay: رس، P: فسفر، VM: رطوبت حجمی هستند.

درنهایت صحت معادلات، با استفاده از معیار RMSE محاسبه شد که به‌ترتیب ۰/۸۱، ۰/۶۵، ۰/۳۴ و ۰/۴۶ برای زی‌توده گندمیان، پهن‌برگان علفی، بوته‌ای‌ها و کل به‌دست آمد که با

**جدول ۱. خلاصه نتایج پارامترهای خاک به‌تفکیک مکان‌های نمونه‌برداری**

| پارامترها | شماره مکان‌های نمونه‌برداری | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ |
| بافت | شنی رسی لومی | شنی رسی لومی | شنی لومی | شنی لومی | لومی | لومی | شنی لومی | شنی رسی لومی | لومی | شنی رسی لومی | شنی لومی |
| pH | ۷/۵۷ | ۷/۴۴ | ۷/۵۰ | ۷/۲۳ | ۷/۶۳ | ۷/۴۹ | ۷/۱۲ | ۶/۹۳ | ۷/۶۱ | ۷/۷۶ | ۷/۶۳ |
| (dS/m) EC | ۰/۹۱ | ۰/۸۱ | ۰/۴۱ | ۰/۵۷ | ۰/۴۶ | ۰/۶۴ | ۰/۳۵ | ۰/۴۰ | ۰/۵۵ | ۰/۴۵ | ۰/۵۲ |
| (meq/l) Ca | ۷/۳۳ | ۹/۰۰ | ۱۰/۱۶ | ۶/۳۳ | ۵/۰۰ | ۱۲/۵۰ | ۷/۱۶ | ۸/۶۶ | ۸/۳۳ | ۷/۱۶ | ۷/۸۳ |
| (meq/l) Mg | ۳/۵۰ | ۲/۳۳ | ۲/۶۶ | ۲/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲/۱۶ | ۳/۳۳ | ۲/۳۳ | ۳/۵۰ | ۲/۱۶ | ۲/۵۰ |
| (ppm) Na | ۶۷/۸۸ | ۶۷/۸۸ | ۳۵/۹۰ | ۳۵/۵۶ | ۶۷/۸۸ | ۵۳/۹۳ | ۲۹/۴۴ | ۵۴/۲۷ | ۴۱/۶۹ | ۵۶/۳۲ | ۵۳/۲۵ |
| K (ppm) محلول | ۲/۵۸ | ۶/۴۲ | ۲/۲۶ | ۲/۹۰ | ۵/۱۴ | ۳/۲۲ | ۸/۰۲ | ۱۳/۷۹ | ۳/۲۲ | ۹/۹۵ | ۵/۱۴ |
| K (ppm) تبادلی | ۳۹/۸۳ | ۳۳/۸۳ | ۳۷/۵۰ | ۴۵/۵۰ | ۴۰/۸۳ | ۳۷/۱۶ | ۳۸/۵۰ | ۳۹/۸۳ | ۳۸/۵۰ | ۲۰/۱۶ | ۲۴/۵۰ |
| (ppm) P | ۰/۱۲ | ۰/۱۰ | ۰/۱۱ | ۰/۱۴ | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۱۰ | ۰/۱۴ | ۰/۱۱ |
| (%) TNV | ۱۹/۸۳ | ۲۰/۱۶ | ۲۰/۳۰ | ۱۹/۶۶ | ۱۹/۷۰ | ۲۱/۵۳ | ۲۱/۹۶ | ۲۱/۹۶ | ۲۰/۶۳ | ۱۸/۴۶ | ۱۹/۵۳ |
| (%) OC | ۰/۶۹ | ۲/۰۸ | ۱/۲۸ | ۱/۴۵ | ۱/۴۶ | ۱/۶۹ | ۱/۴۲ | ۱/۳۱ | ۱/۲۴ | ۰/۵۱ | ۰/۸۳ |
| (%) OM | ۱/۱۹ | ۳/۵۹ | ۲/۲۰ | ۲/۵۱ | ۲/۵۲ | ۲/۹۲ | ۲/۴۵ | ۲/۲۷ | ۲/۱۵ | ۰/۸۸ | ۱/۴۴ |
| (%) POC | ۰/۵۷ | ۱/۳۵ | ۱/۱۱ | ۱/۱۵ | ۱/۳۷ | ۱/۵۴ | ۱/۳۲ | ۱/۰۸ | ۰/۹۱ | ۰/۴۰ | ۰/۵۷ |
| (%) POM | ۰/۹۸ | ۲/۳۳ | ۱/۹۱ | ۱/۹۹ | ۲/۳۶ | ۲/۶۵ | ۲/۲۸ | ۱/۸۷ | ۱/۵۶ | ۰/۶۹ | ۰/۹۸ |
| (%) VM | ۳۱/۵۶ | ۳۰/۱۴ | ۳۰/۷۹ | ۳۰/۸۶ | ۲۷/۶۱ | ۳۱/۲۶ | ۳۰/۰۲ | ۳۰/۲۶ | ۳۱/۷۴ | ۲۷/۹۹ | ۲۴/۱۶ |

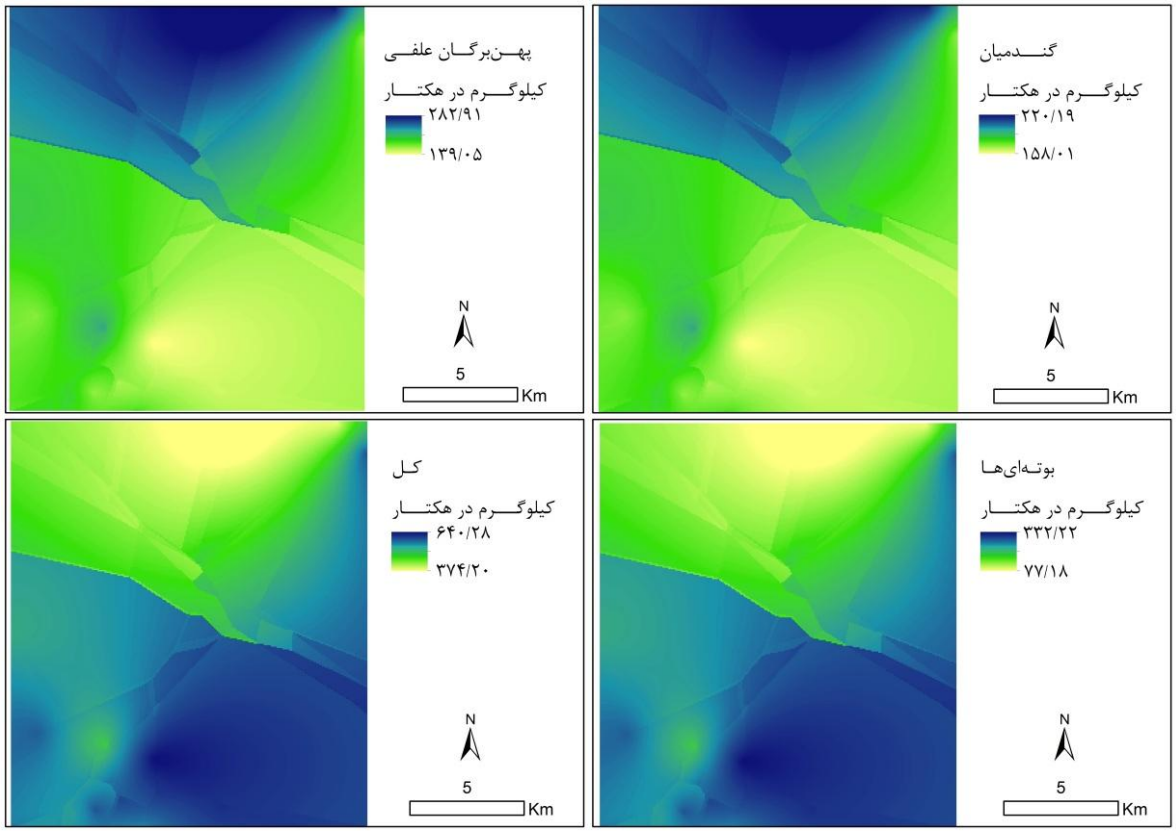
**جدول ۲. خلاصه مدل‌های رگرسیونی زی‌توده فرم‌های رویشی با پارامترهای خاک**

| زی‌توده | خطای معیار برآوردی | R | $R^2$ | $R^2$ تعدیل شده |
|---|---|---|---|---|
| گندمیان | ۱۰۵ | ۰/۷۰ | ۰/۵۸ | ۰/۵۵ |
| پهن‌برگان علفی | ۱۰۸ | ۰/۶۸ | ۰/۵۵ | ۰/۵۱ |
| بوته‌ای‌ها | ۲۳۲ | ۰/۷۷ | ۰/۶۰ | ۰/۵۷ |
| کل | ۲۷۹ | ۰/۷۹ | ۰/۶۳ | ۰/۶۰ |

**جدول ۳. تجزیه واریانس مدل رگرسیون زی‌توده فرم‌های رویشی و کل با پارامترهای خاک**

| زی‌توده | آماره | درجه‌آزادی (df) | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F |
|---|---|---|---|---|---|
| گندمیان | رگرسیون | ۱۲ | ۹۳۱۹۴۰ | ۷۷۶۶۱ | ۷/۰۲** |
| | باقی‌مانده | ۳۱۷ | ۳۵۰۳۰۴۲ | ۱۱۰۵۰ | – |
| | کل | ۳۲۹ | ۴۴۳۴۹۸۲ | – | – |
| پهن‌برگان علفی | رگرسیون | ۱۴ | ۱۴۳۳۰۴۵ | ۱۰۲۳۶۰ | ۸/۷۵** |
| | باقی‌مانده | ۳۱۵ | ۳۶۸۴۴۴۵ | ۱۱۶۹۶ | – |
| | کل | ۳۲۹ | ۵۱۱۷۴۹۱ | – | – |
| بوته‌ای‌ها | رگرسیون | ۱۴ | ۳۹۹۹۶۰۹ | ۲۸۵۶۸۶ | ۵/۲۹** |
| | باقی‌مانده | ۳۱۵ | ۱۶۹۹۳۳۳۴ | ۵۳۹۴۷ | – |
| | کل | ۳۲۹ | ۲۰۹۹۲۹۴۳ | – | – |
| کل | رگرسیون | ۱۰ | ۷۰۹۳۸۷۱ | ۷۰۹۳۸۷ | ۹/۰۶** |
| | باقی‌مانده | ۳۱۹ | ۲۴۹۷۸۴۸۵ | ۷۸۳۰۲ | – |
| | کل | ۳۲۹ | ۳۲۰۷۲۳۵۶ | – | – |

**: اختلاف (اثر) معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف (اثر) معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: فاقد اختلاف (اثر) معنی‌دار




**شکل ۲. نقشه‌های شبیه‌سازی شده زی‌توده فرم‌های رویشی و کل برحسب کیلوگرم در هکتار**

**جدول ۴. نتایج ارزیابی صحت داده‌های برآوردی مدل‌سازی شده**

| زی‌توده | میانگین اندازه‌گیری شده (kg/ha) | میانگین برآوردی از مدل (kg/ha) | RMSE |
|---|---|---|---|
| گندمیان | ۱۸۹ ± ۳/۵۹ | ۱۸۰ ± ۳/۵۵ | ۰/۸۱ |
| پهن‌برگان علفی | ۲۲۶ ± ۴/۴۷ | ۲۲۰ ± ۳/۴۳ | ۰/۶۵ |
| بوته‌ای‌ها | ۱۸۲ ± ۳/۷۴ | ۱۸۰ ± ۴/۶۱ | ۰/۳۴ |
| کل | ۵۷۶ ± ۶/۶۷ | ۵۸۰ ± ۵/۶۴ | ۰/۴۶ |

توجه به‌منابع نشان‌دهنده اعتبار مدل است (جدول ۴).

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پارامترهای خاک در مکان‌های مختلف، اختلاف معنی‌دار در این طبقات (مکان‌ها) را نشان داد. با توجه به اینکه مکان‌های نمونه‌برداری از لحاظ شکل زمین و پستی‌وبلندی با هم متفاوت بودند، بنابراین بیشترین تغییرات پارامترهای خاک می‌تواند تحت تأثیر تغییرات ارتفاعی و به‌تبع آن تغییرات اقلیمی از جمله بارندگی باشد. در این راستا نتایج مطالعه حاضر با نتایج دادجو و همکاران (۵) مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان داد پارامترهای مختلف خاک اثرات متفاوتی بر زی‌توده فرم‌های رویشی و کل داشتند. این عوامل تحت تأثیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل محیطی هستند. به‌عنوان مثال با افزایش ارتفاع میزان بارندگی منطقه افزایش یافته و دما کاهش می‌یابد (۵)؛ درنتیجه تغییرات دما و بارندگی تحت تأثیر اثرات مستقیم عوامل پستی‌وبلندی هستند که درنهایت باعث تغییرات عوامل مختلف خاک می‌شوند (۱۲). بنابراین پایداری رطوبت خاک با تغییرات ارتفاع و شیب دامنه در ارتباط است و علاوه بر پایداری رطوبت، نحوه تأمین آن نیز متفاوت است. از این‌رو، نحوه تأمین آن و به‌تبع آن توزیع مواد غذایی عامل پویایی گروه‌های گیاهی است (۷). درنتیجه تغییرات زی‌توده گیاهی علاوه بر عوامل پستی‌وبلندی و اقلیمی، تحت تأثیر عوامل خاکی نیز هستند، که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه مشاهده شد که رابطه معنی‌داری بین زی‌توده و خصوصیات خاک وجود داشت که در تحقیقات سایر پژوهشگران از جمله قربانی و همکاران (۷)، گریفیدس و همکاران (۱۳)، محمد و همکاران (۱۷) و تامی و همکاران (۲۵) نیز به اهمیت اثرات پارامترهای خاک در تغییرات انواع ویژگی‌های گیاهی و زی‌توده پرداخته شده و تأکید شده است.

با توجه به معادلات مدل‌سازی شده برای پیش‌بینی زی‌توده، مشاهده شد که درصد بالایی از تغییرات توسط پارامترهای خاک قابل پیش‌بینی است، ولی برای به‌دست آوردن روابط مناسب‌تر نیاز به بررسی پارامترهای مختلف پستی‌وبلندی، اقلیمی و غیره است و با درنظر گرفتن پارامترهای مدیریتی مانند شدت چرا می‌توان برآورد زی‌توده را با صحت بیشتری انجام داد (۱۴ و ۲۷). این موضوع با نتایج شکرالهی و همکاران (۲۲) مطابقت دارد. ایشان بیان کردند که عوامل خاکی از مؤثرترین عوامل در تغییرات پارامترهای مختلف گیاهی هستند. با توجه به معادلات استخراج شده مشاهده شد که پارامترهای بافت خاک، آهک، هدایت‌الکتریکی و pH از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تغییرات زی‌توده هستند که علت آن احتمالاً نیازهای متفاوت گیاهان مختلف به ویژگی‌های متفاوت خاک برای ادامه حیات است که تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند نوع و مواد مادری خاک، لگدکوبی توسط دام، میزان فضولات دامی در نقاط مختلف، میزان رطوبت خاک و غیره است که با نتایج قربانی و همکاران (۷) و زارع چاهوکی و همکاران (۲۹) مطابقت دارد. آنها عوامل گفته شده را از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پوشش گیاهی گزارش کردند. بافت خاک یکی از عوامل تعیین کننده

رفتار خاک در برابر آب است که آن را جذب کند، به‌صورت رواناب جاری شود، آب موجود در خاک تبخیر شود و یا باعث حفظ رطوبت شود که این عامل خود باعث تغییرات زی‌توده گیاهی می‌شود. هدایت الکتریکی نیز با املاح خاک رابطه مستقیم دارد. این پارامتر توسعه برگ و تولید ماده خشک در گیاه را تحت تأثیر تغییرات خود قرار می‌دهد. از دیگر عوامل مهم و مؤثر در تغییرات زی‌توده، رطوبت خاک است که تغییرات آن می‌تواند تحت تأثیر عوامل اقلیمی و پستی‌وبلندی باشد که توسط سان و دو (۲۴) نیز به آن اشاره شده است و درنتیجه باعث تغییرات رطوبت خاک در نقاط مختلف خواهد شد. با توجه به اینکه اغلب گیاهان فرم‌های رویشی گندمیان و پهن‌برگان علفی سیستم ریشه افشان و سطحی دارند، بنابراین این نتایج دور از انتظار نبود. همچنین فشردگی، تخلخل و بافت خاک نیز می‌تواند باعث جذب و یا عدم جذب آب و درنهایت باعث تغییرات رطوبتی خاک و تغییرات مقدار زی‌توده گیاهی شود. نتایج این قسمت از تحقیق با نتایج تحقیقات روکارپین و همکاران (۲۱) همخوانی داشته و رطوبت خاک را از مهم‌ترین عوامل بر تغییرات پوشش گیاهی معرفی کرده‌اند. از دیگر عوامل مؤثر خاک بر تغییرات زی‌توده، کربن آلی خاک به‌دست آمد که توسط لی و همکاران (۱۵) و المجاهد و همکاران (۶) نیز تأیید شده است. در این رابطه، احتمالاً افزایش شدت چرا باعث کاهش نیتروژن و درنتیجه منجر به کاهش ماده آلی و ذخیره کربن می‌شود که باعث کاهش زی‌توده می‌شود. از این‌رو تغییرات شدت چرایی می‌تواند باعث تغییرات کربن آلی خاک و درنتیجه تغییرات زی‌توده گیاهی را به‌دنبال داشته باشد. کربن آلی همچنین تحت تأثیر تغییرات دما و بارندگی نیز تغییر می‌کند. همچنین مشاهده شد فسفر، کلسیم و منیزیم خاک نیز از عوامل تأثیرگذار در تغییرات زی‌توده است که در تحقیقات دیگر نیز به آن اشاره شده است (۱ و ۲۸). فسفر یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه است. این عنصر در تمام فرایندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و در مکانیسم‌های انتقال انرژی دخالت دارد. به‌علاوه فسفر مسئول فرایندهای تکثیر و رشد گیاهی است. کلسیم و منیزیم خاک نیز در اثر تجزیه مواد مادری تشکیل شده و از مهم‌ترین مواد در تغییرات رشد و نمو گیاهی هستند. این دو پارامتر در اثر آبشویی نیز تغییرات فراوانی دارد. نتایج صحت نقشه‌های شبیه‌سازی شده نیز نشان داد که از این روش، می‌توان برای ارزیابی مراتع استفاده کرد، به‌طوری که این امر در مدت‌زمان کوتاه و بدون هزینه زیاد و همچنین بدون تخریب مراتع انجام شود که این امر در دیگر مطالعات نیز توصیه شده است (۸). نتایج کلی این مطالعه با نتایج مطالعه قربانی و همکاران (۷) مطابقت داشت.

یافته‌های این مطالعه به درک پاسخ‌های شبیه‌سازی زی‌توده مراتع هیر- نئور به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک کمک می‌کند و اطلاعات پایه‌ای برای حفاظت و مدیریت مراتع در راستای ایجاد توازن کربن اکوسیستم و همچنین برقراری تعادل بین عرضه و تقاضای میزان انرژی یا محصولات مرتع فراهم می‌کند. همچنین در ادامه با انجام مطالعات بیشتر می‌توان مقدار تولید گیاهان قابل چرای دام را برآورد کرده و برای تعیین ظرفیت چرای مراتع با استفاده از روش‌های توسعه یافته استفاده کرد.

## منابع مورد استفاده


1. Abdolzadeh, A., X. Wang, E. Veneklaas and H. Lambers. 2010. Effects of phosphorus supply on growth, phosphate concentration and cluster-root formation in three *Lupinus* species. *Journal of Annals of Botany* 105(3): 365-374.
2. Allan, E., W. W. Weisser, M. Fischer, E. D. Schulze, A. Weigelt and C. Roscher. 2013. A comparison of the strength of biodiversity effects across multiple functions. *Journal of Oecologia* 173: 223-237.
3. Aslami, F., A. Ghorbani, B. Sobhani and M. Panahandeh. 2015. Comparing artificial neural network, support vector machine and object-based methods in preparation land use/cover maps using Landsat-8 images. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS Techniques in Natural Resources* 6(3): 1-14. (In Farsi).
4. Dadjou, F. 2017. The effect of the factors affecting production in the highlands of Hir and Neor using ground-based and remotely sensed methods. Master thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi).

5. Dadjou, F., A. Ghorbani, M. Moameri and M. Bidarlord. 2018. Effects of temperature and rainfall on the aboveground net primary production of Hir and Neur rangelands in Ardabil province. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research* 25(3): 577-593. (In Farsi).
6. Elmojahid, L., X. Leroux, S. Michalet, F. Bellvert, A. Weigelt and F. Poly. 2017. Effect of plant diversity on the diversity of soil organic compounds. *Journal of Plos One* 12(2): 0170494.
7. Ghorbani, A., E. Hassanzadeh Kuhsareh, M. Moameri, K. Hashemi Majd and A. Pournemati. 2019. Effects of soil parameters on aboveground net primary production in meadow rangelands in Fandoghlou region of Namin county, Ardabil Province. *Iranian Journal of Water & Soil Science* 23(3): 95-107. (In Farsi).
8. Ghorbani, A., F. Dadjou, M. Moameri and A. Biswas. 2020. Estimating aboveground net primary production (ANPP) using Landsat 8-based indices: A case study from Hir-Neur rangelands, Iran. *Journal of Rangeland & Ecology Managment* 73(5): 649-657.
9. Ghorbani, A., F. Dadjoo, M. Moameri and M. Bidar lord. 2019. Effective topographic and climate factors on aboveground net primary production in Hir and Neur rangelands of Ardabil province. *Journal of Range and Watershed Managment* 71(4): 1055-1071. (In Farsi).
10. Ghorbani, A., F. Dadjoo, M. Moameri, M. Bidar Lord and K. Hashemi Majd. 2018. Investigating the relationships between net primary production with physiographic factors in Hir and Neur rangelands in Ardabil province. *Journal of Rangeland* 12(1): 73-88. (In Farsi).
11. Ghorbani, A., J. Sharifi, A. H. Kavianpoor, B. Malekpour and F. Mirzaei Aghche Gheshlagh. 2013. Investigation on ecological characteristics of *Festuca ovina* L. in southeastern rangelands of Sabalan. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 20(2): 379-396. (In Farsi).
12. Ghorbani, A., M. Moameri, F. Dadjou, S. A. Seyedi Kaleybar, A. Pournemati and Sh. Asghari. 2020. Determinization of environmental factors effects on plants production in QezelOzan-Kosar Rangelands, Ardabil province factors effect on rangelands production. *Ecopersia* 8(1): 47-56.
13. Griffiths, R. P., M. D. Madritch and A. K. Swansona. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Casade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Journal of Forest Ecology and Management* 257: 1-7.
14. Ivanov, V. Y., R. L. E. Bras and R. Vivon. 2008. Vegetation-hydrology dynamics in complex terrain of semiarid areas: Energy-water controls of vegetation spatiotemporal dynamics and topographic niches of favorability. *Journal of Water Resources Research* 44(3): 1-34.
15. Li, H., K. Shi and D. Xu. 2005. Effects of plant process on soil organic carbon concentration. *Journal of Applied Ecology* 16(6): 1163-1168.
16. Mirzaei Mossivand, A., A. Ghorbani, M. A. Zare Chahoki, F. Keivan Behjou and K. Sefidi. 2016. Environment factors affecting the distribution of species Prangos ferulacea Lindl. in rangelands of Ardabil Province. *Journal of Rangeland* 10(2): 191-203. (In Farsi).
17. Mohamed, A., R. Reich and R. Khosla. 2014. Influence of climatic conditions, topography and soil attributes on the spatial distribution of site productivity index of the species rich forests of Jalisco, Mexico. *Journal of Forestry Research* 25(1): 87-95.
18. Naves, A., J. Machin, S. Begueria, M. Lopez-Vicente and L. Gasper. 2008. Soil properties and physiographic factors controlling the natural vegetation re-growth in a disturbed catchment of the Central Spanish Pyrenees. *Journal of Agroforestry System* 72(3): 173-185.
19. Pornemati, A., A. Ghorbani, J. Sharifi, F. Mirzaei Aghche Gheshlagh, M. Amirkhani and M. Ghodarzi. 2017. Study the effects of elevation, slope and aspect on life form forage production in Sabalan rangelands in Ardabil province. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 24(1): 91-100. (In Farsi).
20. Pourghorban, N. 2018. Study the structure of rangeland species composition and diversity in rangeland of Hir county. Master thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi).
21. Rocarpian, P., S. Gachet, K. Metzner and A. Saatkamp. 2016. Moisture and soil parameters drive plant community assembly in Mediterranean temporary pools. *Journal of Hydrobiologia* 781(1): 55-66.
22. Shokrollahi, Sh., H. R. Moradi and Gh. A. Dianati Tilaki. 2014. Determination of indicator ecological factors in the habitats of some plant species of Polour mountainous rangelands, Mazandaran province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 3(7): 69-81. (In Farsi).
23. Sircely, J., R. T. Conant and R. B. Boone. 2019. Simulating rangeland ecosystems with G-range: Model description and evaluation at global and site scale. *Rangeland Ecology and Management* 72: 846-857.
24. Sun, J. and W. Du. 2017. Effects of precipitation and temperature on net primary productivity and precipitation use efficiency across China's grasslands. *Journal of GIScience and Remote Sensing* 54(6): 881-897.
25. Thomey, M., S. Collins, R. Vargas, J. Johnson, R. Brown, D. Natvig and M. Friggens. 2011. Effect of precipitation variability on net primary production and soil respiration in a Chihuahuan Desert grassland. *Journal of Global Change Biology* 17(4): 1505-1515.

26. Valizadeh Yonjalli, R., F. Mirzaei Aghjehgheshlagh and A. Ghorbani. 2015. Comparing rangeland soil- vegetation mineral content based on elevation classes and phenological stages in north-facing slopes, Sabalan region, Ardabil Province, *Iranian Journal of Water & Soil Science* 73: 233-247. (In Farsi).
27. Wang, X., F. Li, R. Gao, Y. Luo and T. Liu. 2014. Predicted NPP spatiotemporal variations in a semiarid steppe watershed for historical and trending climates. *Journal of Arid Environments* 104: 67-79.
28. Yu, M. M., Y. H. Chen, Z. B. Zhu, L. Liu, L. X. Zhang and Q. S. Guo. 2016. Effect of phosphorus supply on plant productivity, photosynthetic efficiency and bioactive-component production in *Prunella vulgaris* L. under hydroponic condition. *Journal of Plant Nutrition* 39(12): 1672-1680.
29. Zare Chahouki, M., A. Zare Chahouki and M. Zare Ernani. 2010. Effects of topographic and edaphic characteristics on distribution of plant species in Eshtehard rangelands. *Journal of Range and Watershed Managment* 63(3): 331-340. (In Farsi).
30. Zareh Hesari, B., A. Ghorbani, F. Azimi Motam, K. Hashmi Majd and A. Asghari. 2014. Study the effective ecological factors on distribution of Artemisia fragrans in southeast faced slopes of Sabalan. *Journal of Rangeland* 8(3): 238-250. (In Farsi).

**Journal of Water and Soil Science**
**Vol. 25, No. 2, Summer 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.**

# Modeling of Biomass by Soil Parameters in Hir-Neur Rangelands, Ardabil Province

**A. Ghorbani[1]*, M. Moameri[2], F. Dadjou[1] and L. Andalibi[1]**

(Received: April 26-2020; Accepted: November 23-2020)

## Abstract

The purpose of this study was to model biomass with soil parameters in Hir-Neur rangelands of Ardabil Province. Initially, considering the vegetation types and different classes of environmental factors, at the maximum vegetative growth stage, using one square meter plot, biomass was estimated by clipping and weighing method. For each transect, a soil sample was taken and transferred to the soil laboratory and the various parameters were measured by conventional methods. The relationship between soil factors and the rangeland biomass was analyzed and simulated using linear multiple regression. Among the measured soil factors, the Silt, EC, Ca, $K_{soluble}$, OC, POC, pH, Mg, TNV, clay, P, and volumetric moisture had the highest effect and percentage of biomass forecast ($p<0.01$). The accuracy of the simulated maps was analyzed using RMSE criteria and for grasses, forbs, shrubs, and total biomass were equal to 0.81, 0.65, 0.34, and 0.46, respectively. The results of this study, not only point out the importance of soil factors on the biomass but also as a baseline data for managing rangelands, supply-demand, and carbon balance can be used in the current section.

**Keywords**: Biomass, Vegetative form, Simulating, Linear regression, Prediction equation

1. Department of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Department of Medicinal Plants, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
Corresponding author, Email: a_ghorbani@uma.ac.ir