



Modelling Above ground net primary production of Sabalan rangelands using vegetation indices and non-linear regression

Samaneh Mohammadi Moghaddam¹, Ardavan Ghorbani^{*2}, Hossein Arzani³, Javanshir Azizi Mobaser⁴, Raof Mostafazadeh⁵

1. PhD. Student in Range Management, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Corresponding author; Prof., Department of Range and Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: a_ghorbani@uma.ac.ir

3. Prof., Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Associate Prof., Department of water engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

5. Associate Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Article Info

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 02.22.2019

Revised: 02.06.2019

Accepted: 26.07.2019

Keywords:

Rangeland folage, production, Remote sensing data, NDVI, PVI3, RVI, SAVI

Abstract

Background and objectives: Alongside with the progresss in satellite sensors, their role on obtaining information and study of the environmental events and phenomena have become increasingly important .One of these precious data which is the basis for many planning and decision making in rangelands, is the above ground net primary production assements. The traditional method of estimating ANPP is clipping and weighing. The high cost, time compseation and difficulty in clipping are the limitations of the traditional method, which makes it extremely difficult and expensive to estimate the ANPP of large areas. Thus, the aim of this study was to estimate above ground net primary production (ANPP) using vegetation indices.

Methodology: Sampling of vegetation was performed in rangelands of Sabalan elevations in Ardabil province in altitude ranges from 1500 to 3300 meters in 2016. Nine sites were selected in study area and in each site three 100 m transects were placed with 50 m interval. Along each transect 5 plots (1 square meter) with 20 m from each other was placed and in each plot, total production and life forms including shrubs, grasses and forbs ANPP were measured. The initial net production samples were placed in an oven at 70 ° C for 24 hours and then weighed to determine their dry weight. Furthermore, veg/etation indices including NDVI, PVI3, RVI and SAVI were calculated using data of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) images for 2015. Due to the fact that the maximum growth of vegetation in the region is in June, the images were also selected at the same time. Then using general additive model in software R, curve of relationship between ANPP and vegetation was analyzed in two way Individual and Combined data. Finally, ANPP was modeled using non-linear regression.

Results: The application of generalized additive models for each of the vegetation indices with total ANPP and life forms separately shows that NDVI, PVI3 and RVI have a nonlinear relationship with total ANPP and life forms. However, the SAVI index has a linear relationship with the ANPP of total and grasses. Also, all vegetation indices have a significant relationship with ANPP. The ranking of vegetation indices affecting the ANPP based on the coefficient of determination shows that the most important and least important plant indices are SAVI and PVI3

for shrubs, and PVI3 and SAVI for grasses, forbs and total ANPP. In the present study, contrary to expectations, NDVI vegetation index, which has many applications in the vegetation studies and its increase indicates the presence of more vegetation in the region, in the generalized additive model and the combined study of vegetation index and ANPP show a nonsignificant relationship. Results showed that nonlinear regression significantly increased the accuracy of ANPP estimation using vegetation indices. The coefficient of determination for total ANPP (0.80) is more than shrubs (0.74), grasses (0.75), and forbs (0.56) and among the life forms, forbs have the lowest coefficient of determination.

Conclusion: Based on the results, suitable vegetation index for estimate the ANPP of life forms are different. Also, ANPP estimation using vegetative indices at the total level is more accurate than life forms. According to the results, the OLI image and the use of nonlinear regression models were able to adequately estimate the ANPP in the study area. Therefore, if similar results are obtained in other areas of Ardabil, it will be possible to generalize the results and estimate this important ecological indicator with less time and cost. This tool can also be used to provide information on the amount of forage production and thus determine the stocking rate, as well as the degree of pasture degradation.

Cite this article: Mohammadi Moghaddam, S., A. Ghorbani, H. Arzani, J. Azizi Mobaser, R. Mostafazadeh, 2022. Modelling Above ground net primary production of Sabalan rangelands using vegetation index and non-linear regression. *Journal of Rangeland*, 16(1): 33-51.



© The Author(s).

Publisher: Iranian Society for Range Management

DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.1.3

مدل سازی تولید خالص اولیه سطح زمین مراتع سبلان با استفاده از شاخص های گیاهی و رگرسیون غیر خطی

سمانه محمدی مقدم^۱، اردوان قربانی^{۲*}، حسین ارزانی^۳، جوانشیر عزیزی مبصر^۴ و رئوف مصطفی زاده^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایان نامه: uma.ac.ir
۳. استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۵. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله کامل - پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۳

تاریخ ویرایش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۴

سابقه و هدف: امروزه با پیشرفت سنجنده های ماهواره ای، نقش آن ها در کسب اطلاعات و بررسی عوارض و پدیده های زمین اهمیتی روز افزون یافته است. یکی از این اطلاعات ارزشمند که مبنای بسیاری از برنامه ریزی ها و تصمیم گیری ها را در مراتع تشکیل می دهد تولید خالص اولیه سطح زمین است. روش سنتی برآورد تولید، استفاده از اندازه گیری زمینی است. هزینه بالا، زمان بر و طاقت فرسا بودن جمع آوری داده های زمینی از محدودیت های روش سنتی می باشد و این روش را برای برآورد تولید مناطق با وسعت بالا فوق العاده مشکل و پرهزینه می نماید. از این رو هدف این تحقیق مدل سازی تولید خالص اولیه سطح زمین با استفاده از شاخص های گیاهی است.

مواد و روش ها: نمونه برداری از پوشش گیاهی در مراتع ارتفاعات سبلان در استان اردبیل و محدوده ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۳۳۰۰ متر در سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. در مجموع ۹ سایت در منطقه انتخاب و در هر سایت ۳ ترانسکت ۱۰۰ متری با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر قرار گرفت. در امتداد هر ترانسکت ۵ پلات ۱ متر مربعی با فاصله ۲۰ متر از یکدیگر مستقر و در هر پلات تولید خالص اولیه به تفکیک فرم رویشی شامل بوته ها، گندمیان و پهن برگان علفی برداشت شد. نمونه های تولید خالص اولیه سطح زمین به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس به منظور تعیین وزن خشک آن ها، توزین شدند. هم چنین شاخص های گیاهی شامل NDVI، PVI3، RVI و SAVI با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI مربوط به سال ۱۳۹۴ محاسبه شد. با توجه به اینکه حداکثر رشد گیاهان در منطقه در ماه خرداد است، تصاویر برای ماه خرداد انتخاب شدند. سپس با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته در نرم افزار R، رابطه تولید خالص اولیه کل و فرم های رویشی با شاخص های گیاهی به صورت انفرادی و ترکیبی به دست آمد. در نهایت تولید خالص اولیه سطح زمین با استفاده از روش رگرسیون غیر خطی مدل سازی شد.

نتایج: به کارگیری مدل های جمعی تعمیم یافته برای هر یک از شاخص های گیاهی و تولید خالص اولیه کل و فرم رویشی به صورت انفرادی نشان می دهد که شاخص های گیاهی NDVI، PVI3 و RVI دارای رابطه غیر خطی با تولید کل و فرم های رویشی هستند. اما شاخص SAVI با تولید خالص اولیه سطح زمین کل و گندمیان دارای

واژه های کلیدی:

تولید مراتع،
داده ماهواره ای،
NDVI،
RVI،
PVI3،
SAVI

رابطه خطی است. همچنین همه شاخص‌های گیاهی دارای رابطه معنی‌دار با تولید خالص اولیه هستند. رتبه‌بندی شاخص‌های گیاهی اثرگذار بر تولید خالص اولیه براساس ضریب تبیین نشان می‌دهد که با اهمیت‌ترین و کم اهمیت‌ترین شاخص گیاهی به ترتیب برای بوته SAVI و PVI3، گندمیان، پهن‌برگان علفی و کل PVI3 و SAVI هستند. در تحقیق حاضر بر خلاف انتظار شاخص پوشش گیاهی NDVI، که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی کاربردهای فراوانی دارد و افزایش مقادیر آن بیانگر وجود پوشش گیاهی بیش‌تر در منطقه است، در مدل جمعی تعمیم‌یافته و بررسی توانان رابطه شاخص‌های گیاهی و ANPP رابطه معنی‌داری را نشان نداد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که رگرسیون غیرخطی به‌طور قابل توجهی باعث افزایش صحت برآورد ANPP با استفاده از شاخص‌های گیاهی شده است. میزان ضریب تبیین برای تولید کل (۰/۸۰) بیش‌تر از بوته‌ها (۰/۷۴)، گندمیان (۰/۷۵)، پهن‌برگان علفی (۰/۵۶) است و از میان فرم‌های رویشی پهن‌برگان علفی کم‌ترین مقدار ضریب تبیین را دارند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج شاخص گیاهی مناسب به‌منظور برآورد تولید فرم‌های رویشی مختلف متفاوت است. همچنین برآورد ANPP با استفاده از شاخص‌های گیاهی در سطح کل دقیق‌تر از فرم‌های رویشی است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، تصویر OLI و استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی توانستند به مقدار مناسبی ANPP را در منطقه پژوهش برآورد کنند. از این‌رو در صورت کسب نتایج مشابه در دیگر مناطق اردبیل، امکان تعمیم نتایج و زمینه برآورد این شاخص اکولوژیکی مهم با صرف زمان و هزینه کم‌تر فراهم خواهد شد. همچنین از این ابزار می‌توان جهت تأمین اطلاعات از میزان تولید علوفه و در نتیجه تعیین ظرفیت و میزان دام و همچنین میزان تخریب مرتع، استفاده کرد.

استناد: محمدی مقدم، س. ا. قربانی، ح. ارزانی، ج. عزیزی مبصر، ر. مصطفی‌زاده، ۱۴۰۱. مدل‌سازی تولید خالص اولیه سطح زمین مراتع سبلان با استفاده از شاخص‌های گیاهی و رگرسیون غیرخطی، مرتع، ۱۶(۱): ۳۳-۵۱.



DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.1.3

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

مقدمه

تولید خالص اولیه سطح زمین (ANPP= Above ground net primary production) مراتع یک مولفه مهم از چرخه کربن جهانی است (۲۲). تولید خالص اولیه، ماده خشک تولید شده توسط قسمت سبز گیاه در واحد سطح و زمان است (۱۸). این متغیر اطلاعاتی درباره دریافت کربن توسط گیاه از اتمسفر و پتانسیل رهاسازی کربن ذخیره شده توسط گیاه را ارائه می‌دهد. هم‌چنین متغیری کلیدی برای پایش فعالیت‌های اکولوژیکی و شاخصی حساس به تغییرات محیطی و اقلیمی است (۱۰). پایش ANPP در مناطق خشک و نیمه‌خشک که یک سوم از سطح زمین را می‌پوشاند و به‌طور ویژه‌ای تحت تأثیر تغییرات محیطی است، بسیار اهمیت دارد (۹). تعیین مقدار و پایش ANPP امکان شناخت فرآیند تخریب مرتع و اتخاذ راهکار برای احیاء آن را فراهم می‌نماید (۱۱). ANPP از جنبه اقتصادی دارای اهمیت است و در برنامه‌های مدیریتی، افزایش ANPP جزو اهداف اصلی مرتعداران است. به علاوه، این پارامتر به‌عنوان یک شاخص اکولوژیکی در تعیین غالبیت گونه‌ها، میزان انرژی ذخیره شده در گیاه و پتانسیل تولیدی یک رویشگاه کاربرد دارد. هم‌چنین به‌عنوان شاخص مدیریتی در تعیین ظرفیت مرتع، وضعیت مرتع و تعداد دام و حیات وحش استفاده کننده از مرتع نقش دارد (۵). بنابراین درک الگوهای زمانی و مکانی ANPP و برآورد آن یک پیش شرط برای مدیریت سیستم‌های چرای است. اما مشکلی که وجود دارد این است که تخمین پارامترهای بیوفیزیکی گیاهان از جمله میزان تولید خالص اولیه به روش‌های سنتی در قالب نمونه‌برداری‌های محدود یا توزین نهایی وزن محصول علاوه بر صرف وقت، نیروی انسانی و هزینه زیاد، بسیار مشکل و طاقت فرساست. از این‌رو در طی چند دهه گذشته، برآورد غیرمستقیم و مدل‌سازی تولید خالص اولیه روی زمین موضوع اصلی بسیاری از مطالعات مرتعی بوده است.

در طول دهه‌های گذشته روش‌های متعددی برای برآورد تولید علوفه، NPP سطح و زیرزمین، تولید ناخالص اولیه سطح و زیرزمین و محصول سرپا توسعه یافته‌اند (۸). اولین مدل‌سازی‌ها در زمینه برآورد ANPP به اواسط قرن ۱۹ برمی‌گردد که شامل رابطه رگرسیونی خطی ساده بین

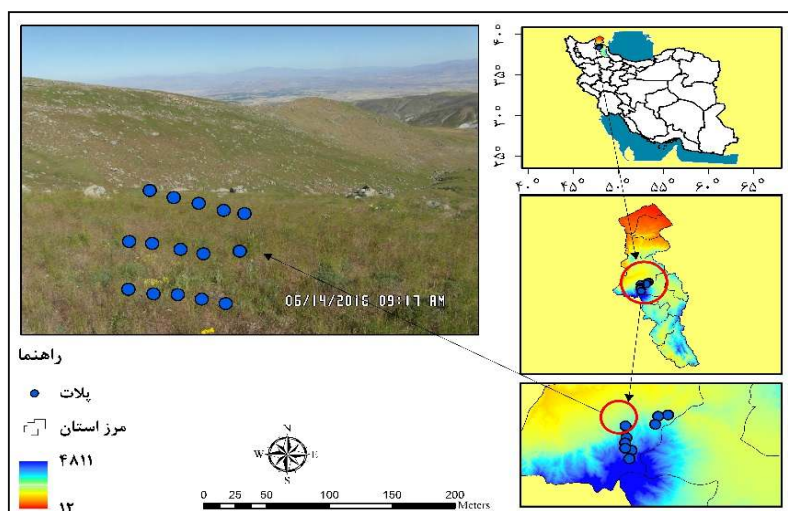
بارندگی و مقدار تولید بوده است (۱۴). بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌سازی ANPP نشان می‌دهد که مدل‌های برآورد ANPP را می‌توان در پنج گروه شامل مدل‌های زمینی، اقلیمی، سنجش از دوری، انرژی و فرآیندی قرار داد. با توجه به چالش‌های موجود در استفاده از مدل‌های فیزیکی موجود به‌منظور برآورد تولید خالص اولیه در مقیاس اکوسیستم و یا منطقه‌ای، محققان به این نتیجه رسیدند که مدل‌های حاصل از داده‌های سنجش از دور ممکن است برآورد دقیق‌تر و صحیح‌تری از این پارامتر داشته باشند که سال‌ها به‌عنوان یک ورودی مهم در مدل‌سازی ANPP استفاده شده‌اند (۴). اگر چه ANPP حاصل از اندازه‌گیری میدانی دقیق‌تر است، اما این روش یک روش عملی برای سطوح گسترده نیست. داده‌های سنجش از دور در مقیاس‌های مختلف، از محلی تا جهانی و از سیستم عامل‌های مختلف مانند آیکونوس، کوئیک‌برد، اسپات، سنتینل، لندست و مودیس که قدرت تفکیک مکانی آن‌ها از کم‌تر از یک متر تا صدها متر متفاوت است، در دسترس هستند. هم‌چنین انواع مختلفی از داده‌ها مانند نوری، رادار و LiDAR وجود دارد که هر یک از آن‌ها دارای مزایای خاصی نسبت به دیگری است (۲۰). سنجش از دور به‌دلیل پوشش جهانی، تکرار داشتن و کاهش هزینه‌ها احتمالاً بهترین جایگزین برای برآورد ANPP از طریق نمونه‌برداری میدانی است.

مطالعات متعددی رگرسیون‌های خطی را برای پیش‌بینی ANPP یا پارامترهای بیولوژیکی مشابه استفاده کرده‌اند و در سایر مطالعات برای تعریف رابطه شاخص‌های گیاهی و ANPP از مدل‌های غیرخطی استفاده کرده‌اند که نتایج مشابه و حتی بهتر از روش‌های خطی داشته‌اند. فریمن و همکاران (۲۰۰۷) چندین مدل خطی و غیرخطی بر مبنای شاخص NDVI و ارتفاع گیاه به‌منظور پیش‌بینی بیومس و علوفه ارائه نمودند. زو و همکاران (۲۰۰۸) شش مدل حاصل از توابع خطی، توانی، نمایی، درجه دوم، درجه سوم و لگاریتمی را برای پیش‌بینی تولید گندمیان با استفاده از NDVI برای شش منطقه در چین مورد استفاده قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که براساس حداقل خطای باقیمانده، تابع غیرخطی نمایی با صحت بیش‌تری تولید گندمیان را برآورد کرد. رایگانی و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود بیان

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شهرستان مشگین‌شهر استان اردبیل و در مرتفع‌ترین مراتع کوهستانی در شمال غرب ایران (ارتفاع قله سبلان ۴۸۱۱ متر از سطح دریا است) (شکل ۱) قرار دارد. تمام ۹ محل نمونه‌برداری در بخش شمالی سبلان در طول جغرافیایی $48^{\circ} 47' 48''$ تا $47^{\circ} 47' 05''$ شمالی و عرض جغرافیایی $38^{\circ} 01' 10''$ تا $38^{\circ} 29' 38''$ شرقی قرار دارد (جدول ۱). این مراتع، به‌طور سنتی و بیش از ظرفیت مرتع توسط دام‌های ایل شاهسون و مردم روستایی (۱۵) مورد استفاده قرار می‌گیرند و به‌دلیل اهمیت جغرافیایی، زیست محیطی و اقتصادی آن به‌عنوان منطقه مطالعه مورد انتخاب شده است. تابستان‌های معتدل، خشک و سرد و زمستان‌های برفی، ویژگی اصلی اقلیمی این منطقه است. میانگین بارندگی سالانه آن ۴۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر است که از مناطق کوهستانی به دشت‌های منطقه کاهش می‌یابد. در این مناطق در هر ۳۵۰ متر افزایش ارتفاع، دما ۱ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. همچنین در هر ۳۰۰ متر افزایش ارتفاع، میانگین بارش سالانه حدود ۱۰۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد. با توجه به قرار گرفتن در معرض جریان‌های سرد و مرطوب سیبری، اقلیم هیرکانی و مدیرانه‌ای، عناصر پوشش گیاهی این منطقه متعلق به مناطق اروپای-سیبری و ایران-تورانی و از نوع پوشش گیاهی استپی هستند (۲۹).

کردند که رابطه خطی پوشش گیاهی و شاخص گیاهی، درصد پوشش گیاهی تنها با باند مادون قرمز نزدیک آن هم در سطح ۵ درصد رابطه معنی‌داری نشان می‌دهد. در حالی که در غیرخطی، تمامی باندها با درصد پوشش گیاهی رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد نشان خواهند داد. هم‌چنین مشاهده گردید با تغییر در نوع مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی مورد استفاده و تبدیل آن به یک مدل رگرسیونی چندمتغیره غیرخطی، می‌توان ضریب تبیین و ضریب همبستگی میان برآوردهای حاصله و اندازه‌گیری‌های میدانی درصد پوشش گیاهی را به‌طور محسوسی افزایش داد، به گونه‌ای که در تحقیق ایشان در بهترین حالت ضریب همبستگی ۰/۹۱ و ضریب تبیین ۰/۸۴ میان برآوردهای پوشش گیاهی و مقادیر اندازه‌گیری شده آن بدست آمد. بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌سازی تولید خالص اولیه با استفاده از شاخص‌های گیاهی در ایران نشان می‌دهد که در غالب این مطالعات از رگرسیون خطی استفاده شده است. در حالی که رابطه تولید و شاخص‌های گیاهی ممکن است به‌صورت غیرخطی باشد. از این‌رو در تحقیق حاضر امکان افزایش دقت و صحت مدل‌سازی ANPP با استفاده از شاخص‌های گیاهی از طریق مدل جمعی تعمیم‌یافته و رگرسیون غیرخطی بررسی شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان اردبیل

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و اطلاعات پوشش گیاهی مرتع در هر مکان نمونه برداری

مکان	چنانق بلاغ	پشته	مس درمسی	یورت دیبگلو	لغ	جوچو خوری	شیروان درمسی	شیرافکن	شابل
خصوصیات									
طول و عرض جغرافیایی	۳۰° ۲۷' ۱۳"	۳۰° ۲۶' ۱۵"	۳۸° ۲۵' ۴۱"	۳۸° ۲۵' ۰۶"	۳۸° ۲۱' ۵۳"	۳۸° ۲۱' ۴۷"	۳۸° ۲۰' ۲۱"	۳۸° ۲۰' ۴۳"	۳۸° ۱۸' ۴۴"
ارتفاع متوسط (m)	۱۷۸۰	۱۷۰۶	۱۹۹۹	۱۹۹۵	۲۳۱۱	۲۵۸۶	۲۶۸۶	۲۷۵۴	۳۱۵۰
جهت غالب شیب (/)	شمال ۱۴	شمال شرق - شمال غرب ۲۰	شمال ۳۴	شمال شرق ۲۰	شمال غربی ۳۷	شمال ۳۹	شمال ۴۰	شمال شرق ۳۳	شمالی ۱۹
دما (°C)	۹	۹	۸	۸	۷	۶	۵	۵	۴
بارندگی (mm)	۲۷۶	۳۱۵	۳۰۶	۳۲۸	۳۶۱	۳۷۸	۴۱۲	۳۹۴	۴۴۵
لاشیرگ (/)	۱۹/۰۵	۳۰/۷۴	۸/۴۷	۱۳/۷۴	۵/۱۴	۱/۷۵	۴/۲۵	۱/۹۳	۱/۵۷
سنگ و سنگریزه (/)	۱۶/۱۴	۰	۵/۰۵	۸/۰۱	۲۱/۴۲	۲۰/۰۳	۴/۶۴	۷/۳۰	۲۹/۵۶
خاک لخت (/)	۴/۹۰	۰/۷	۲۶/۸۹	۶/۳۷	۱۰/۹	۱۳/۰۹	۱۳/۹۳	۱۱/۹۳	۶/۱۰
تاج پوشش (/)	۶۰/۴۴	۶۸/۳۳	۵۹/۴۶	۷۱/۳۶	۶۰/۷۴	۶۳/۹۹	۷۶/۴۷	۷۸/۴۳	۶۲/۲۴
تیپ غالب	<i>Astragalus microcephalus</i> - <i>Taeniatherum caput medusae</i>	<i>Taeniatherum caput medusae</i> - <i>Medicago sativa</i>	<i>Astragalus microcephalus</i> - <i>Bromus arvensis</i> - <i>Thymus kotschyana</i>	<i>Bromus tectorum</i>	<i>Astragalus aureus</i> - <i>Festuca ovina</i>	<i>Festuca ovina</i> - <i>Astragalus aureus</i>	<i>Festuca ovina</i> - <i>Trifolium medium</i>	<i>Lolium rigidum</i> - <i>Festuca ovina</i> - <i>Trifolium medium</i>	<i>Festuca ovina</i> - <i>Alopecurus vaginatus</i>

اندازه گیری میدانی

نمونه برداری در خرداد ۱۳۹۵ در زمان حداکثر رشد پوشش گیاهی و در ۹ مکان انجام شد. میانگین بارندگی در این سال براساس ایستگاه های سینوپتیک موجود در منطقه مورد مطالعه ۳۵۸/۹ میلی متر است. به طور کلی در هر مکان نمونه برداری سه ترانسکت ۱۰۰ متری به صورت موازی و عمود بر شیب غالب منطقه (تصادفی - سیستماتیک طبقه بندی شده) و به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر و در امتداد هر ترانسکت با فاصله ۲۰ متر از یکدیگر، ۵ پلات یک مترمربعی قرار گرفت. مکان پلات ها و ارتفاع آن ها با استفاده از GPS ثبت شدند (جدول ۲). اندازه و تعداد پلات ها (در

مجموع ۱۳۵ پلات نمونه برداری شد) براساس مطالعات گذشته در محدوده منطقه مورد مطالعه با نوع و الگوی پوشش گیاهی مشابه تعیین شد (۱۶). در هر پلات، تولید خالص اولیه سطح زمین به تفکیک فرم رویشی (بوته ها، گندمیان و پهن برگان علفی) و به روش قطع و توزین برداشت شد. در مورد گندمیان و پهن برگان علفی، گیاه از ۲ سانتی متر بالای سطح خاک و بوته ها رشد سال جاری قطع شد. نمونه های پوشش گیاهی به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس به منظور تعیین وزن خشک آن ها، توزین شدند (۱۷).

جدول ۲: اطلاعات مربوط به طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع (متر) پلات‌های نمونه‌برداری

شیروان دره سی			یورت دی‌گللو			پشته		
طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۴۷° ۵۰' ۵۱/۶"	۳۸° ۲۰' ۲۱/۶"	۲۶۷۳	۴۷° ۴۹' ۹/۳"	۳۸° ۲۵' ۶/۳"	۲۰۰۵	۴۷° ۴۹' ۱۰"	۳۸° ۲۶' ۱۶"	۱۶۹۲
۴۷° ۵۰' ۵۰/۹"	۳۸° ۲۰' ۲۱/۷"	۲۶۷۳	۴۷° ۴۹' ۱۰/۱"	۳۸° ۲۵' ۶/۳"	۲۰۰۴	۴۷° ۴۹' ۱۰/۹"	۳۸° ۲۶' ۱۵/۹"	۱۶۹۴
۴۷° ۵۰' ۴۹/۹"	۳۸° ۲۰' ۲۱/۶"	۲۶۷۳	۴۷° ۴۹' ۱۰/۹"	۳۸° ۲۵' ۶/۳"	۲۰۰۴	۴۷° ۴۹' ۱۱/۷"	۳۸° ۲۶' ۱۵/۹"	۱۶۹۴
۴۷° ۵۰' ۴۹/۲"	۳۸° ۲۰' ۲۲"	۲۶۷۰	۴۷° ۴۹' ۱۱/۷"	۳۸° ۲۵' ۶"	۲۰۰۳	۴۷° ۴۹' ۱۲/۵"	۳۸° ۲۶' ۱۵/۸"	۱۶۹۶
۴۷° ۵۰' ۴۸/۴"	۳۸° ۲۰' ۲۲/۲"	۲۶۷۰	۴۷° ۴۹' ۱۲/۵"	۳۸° ۲۵' ۶"	۲۰۰۱	۴۷° ۴۹' ۱۲/۳"	۳۸° ۲۶' ۱۵/۷"	۱۶۹۹
۴۷° ۵۰' ۴۷/۴"	۳۸° ۲۰' ۲۰/۸"	۲۶۸۶	۴۷° ۴۹' ۹/۳"	۳۸° ۲۵' ۸"	۱۹۹۹	۴۷° ۴۹' ۱۴"	۳۸° ۲۶' ۱۴/۱"	۱۷۰۵
۴۷° ۵۰' ۴۷/۸"	۳۸° ۲۰' ۲۰/۸"	۲۶۸۶	۴۷° ۴۹' ۹/۷"	۳۸° ۲۵' ۸"	۲۰۰۰	۴۷° ۴۹' ۱۳/۵"	۳۸° ۲۶' ۱۴/۱"	۱۷۰۶
۴۷° ۵۰' ۴۸/۶"	۳۸° ۲۰' ۲۰/۷"	۲۶۸۵	۴۷° ۴۹' ۱۰/۵"	۳۸° ۲۵' ۸/۱"	۱۹۹۷	۴۷° ۴۹' ۱۳/۴"	۳۸° ۲۶' ۱۳/۸"	۱۷۰۶
۴۷° ۵۰' ۴۹/۴"	۳۸° ۲۰' ۲۰/۵"	۲۶۸۶	۴۷° ۴۹' ۱۱/۳"	۳۸° ۲۵' ۸"	۱۹۹۴	۴۷° ۴۹' ۱۲/۵"	۳۸° ۲۶' ۱۴/۲"	۱۷۰۵
۴۷° ۵۰' ۵۰/۳"	۳۸° ۲۰' ۲۰/۶"	۲۶۸۶	۴۷° ۴۹' ۱۲/۱"	۳۸° ۲۵' ۸/۱"	۱۹۹۰	۴۷° ۴۹' ۱۱/۶"	۳۸° ۲۶' ۱۴/۲"	۱۷۰۸
۴۷° ۵۰' ۵۱/۱"	۳۸° ۲۰' ۱۹"	۲۷۰۴	۴۷° ۴۹' ۹/۳"	۳۸° ۲۵' ۹/۷"	۱۹۹۶	۴۷° ۴۹' ۹/۷"	۳۸° ۲۶' ۱۲/۸"	۱۷۱۲
۴۷° ۵۰' ۵۰/۳"	۳۸° ۲۰' ۱۹/۲"	۲۷۰۴	۴۷° ۴۹' ۱۰/۳"	۳۸° ۲۵' ۹/۹"	۱۹۹۴	۴۷° ۴۹' ۱۰/۴"	۳۸° ۲۶' ۱۲/۲"	۱۷۱۵
۴۷° ۵۰' ۴۹/۴"	۳۸° ۲۰' ۱۹/۳"	۲۷۰۱	۴۷° ۴۹' ۱۰/۹"	۳۸° ۲۵' ۹/۸"	۱۹۹۰	۴۷° ۴۹' ۱۱/۲"	۳۸° ۲۶' ۱۲/۲"	۱۷۱۸
۴۷° ۵۰' ۴۸/۷"	۳۸° ۲۰' ۱۹/۳"	۲۷۰۰	۴۷° ۴۹' ۱۱/۶"	۳۸° ۲۵' ۹/۹"	۱۹۸۵	۴۷° ۴۹' ۱۱/۹"	۳۸° ۲۶' ۱۲"	۱۷۲۰
۴۷° ۵۰' ۴۷/۸"	۳۸° ۲۰' ۱۹/۴"	۲۶۹۸	۴۷° ۴۹' ۱۲/۹"	۳۸° ۲۵' ۱۰/۱"	۱۹۷۷	۴۷° ۴۹' ۱۲/۸"	۳۸° ۲۶' ۱۱/۸"	۱۷۲۲
شیرافکن			لغ			چنانق بلاغ		
۴۷° ۴۹' ۱۶/۸"	۳۸° ۲۲' ۴۲/۸"	۲۷۷۷	۴۷° ۴۹' ۳۱/۷"	۳۸° ۲۲' ۵۲/۶"	۲۲۹۴	۴۷° ۵۶' ۳۰/۷"	۳۸° ۲۷' ۱۷/۲"	۱۷۷۹
۴۷° ۴۹' ۱۷/۴"	۳۸° ۲۲' ۴۲/۴"	۲۷۷۶	۴۷° ۴۹' ۳۱"	۳۸° ۲۲' ۵۲/۳"	۲۲۹۴	۴۷° ۵۶' ۳۱/۶"	۳۸° ۲۷' ۱۷/۲"	۱۷۸۰
۴۷° ۴۹' ۱۸"	۳۸° ۲۲' ۴۲/۹"	۲۷۷۵	۴۷° ۴۹' ۳۰/۳"	۳۸° ۲۲' ۵۱/۸"	۲۲۹۴	۴۷° ۵۶' ۳۲/۶"	۳۸° ۲۷' ۱۷/۱"	۱۷۸۰
۴۷° ۴۹' ۱۸/۵"	۳۸° ۲۲' ۴۲/۶"	۲۷۷۵	۴۷° ۴۹' ۲۹/۸"	۳۸° ۲۲' ۵۱/۳"	۲۲۹۴	۴۷° ۵۶' ۳۳/۲"	۳۸° ۲۷' ۱۷/۱"	۱۷۸۰
۴۷° ۴۹' ۱۹/۲"	۳۸° ۲۲' ۴۲"	۲۷۷۳	۴۷° ۴۹' ۲۹/۲"	۳۸° ۲۲' ۵۰/۹"	۲۲۹۳	۴۷° ۵۶' ۳۴"	۳۸° ۲۷' ۱۷/۱"	۱۷۸۲
۴۷° ۴۹' ۲۱/۱"	۳۸° ۲۲' ۴۲"	۲۷۶۷	۴۷° ۴۹' ۳۰/۲"	۳۸° ۲۲' ۴۹/۶"	۲۳۱۲	۴۷° ۵۶' ۳۴/۸"	۳۸° ۲۷' ۱۵/۵"	۱۷۸۲
۴۷° ۴۹' ۲۰/۲"	۳۸° ۲۲' ۴۲/۵"	۲۷۶۸	۴۷° ۴۹' ۳۰/۵"	۳۸° ۲۲' ۴۹/۸"	۲۳۱۲	۴۷° ۵۶' ۳۴/۴"	۳۸° ۲۷' ۱۵/۶"	۱۷۸۹
۴۷° ۴۹' ۲۰/۳"	۳۸° ۲۲' ۴۳"	۲۷۷۰	۴۷° ۴۹' ۳۱"	۳۸° ۲۲' ۵۰/۳"	۲۳۱۱	۴۷° ۵۶' ۳۴/۵"	۳۸° ۲۷' ۱۵/۵"	۱۷۸۹
۴۷° ۴۹' ۱۹/۸"	۳۸° ۲۲' ۴۳/۵"	۲۷۷۱	۴۷° ۴۹' ۳۱/۷"	۳۸° ۲۲' ۵۰/۷"	۲۳۱۰	۴۷° ۵۶' ۳۴/۷"	۳۸° ۲۷' ۱۵/۵"	۱۷۸۷
۴۷° ۴۹' ۱۹/۲"	۳۸° ۲۲' ۴۳/۹"	۲۷۷۰	۴۷° ۴۹' ۳۲/۳"	۳۸° ۲۲' ۵۱/۱"	۲۳۱۱	۴۷° ۵۶' ۳۱/۹"	۳۸° ۲۷' ۱۵/۴"	۱۷۸۷
۴۷° ۴۹' ۱۸/۹"	۳۸° ۲۲' ۴۳/۷"	۲۷۱۵	۴۷° ۴۹' ۳۳/۸"	۳۸° ۲۲' ۵۰/۲"	۲۳۲۲	۴۷° ۵۶' ۳۱/۵"	۳۸° ۲۷' ۱۳/۹"	۱۷۹۳
۴۷° ۴۹' ۱۹/۴"	۳۸° ۲۲' ۴۳/۱"	۲۷۱۶	۴۷° ۴۹' ۳۳"	۳۸° ۲۲' ۵۰"	۲۳۲۹	۴۷° ۵۶' ۳۲/۳"	۳۸° ۲۷' ۱۴"	۱۷۹۳
۴۷° ۴۹' ۱۹/۲"	۳۸° ۲۲' ۴۵/۸"	۲۷۱۶	۴۷° ۴۹' ۳۲/۵"	۳۸° ۲۲' ۴۹/۴"	۲۳۳۰	۴۷° ۵۶' ۳۳"	۳۸° ۲۷' ۱۴/۱"	۱۷۹۳
۴۷° ۴۹' ۲۰/۵"	۳۸° ۲۲' ۴۵/۵"	۲۷۱۸	۴۷° ۴۹' ۳۲/۱"	۳۸° ۲۲' ۴۹"	۲۳۳۳	۴۷° ۵۶' ۳۳/۹"	۳۸° ۲۷' ۱۴/۲"	۱۷۹۴
۴۷° ۴۹' ۲۱/۳"	۳۸° ۲۲' ۴۵/۱"	۲۷۱۹	۴۷° ۴۹' ۳۱/۶"	۳۸° ۲۲' ۴۸/۵"	۲۳۳۲	۴۷° ۵۶' ۳۴/۶"	۳۸° ۲۷' ۱۴/۳"	۱۷۹۵
شابلین			جوی چوخوری			مس دره سی		
۴۷° ۵۰' ۲۵/۶"	۳۸° ۱۸' ۴۴/۶"	۳۱۲۶	۴۷° ۴۹' ۱۳/۳"	۳۸° ۲۱' ۴۷/۲"	۲۵۷۴	۴۷° ۵۵' ۵۵/۵"	۳۸° ۲۵' ۴۱/۶"	۱۹۷۹
۴۷° ۵۰' ۲۵"	۳۸° ۱۸' ۴۴/۴"	۳۱۳۰	۴۷° ۴۹' ۱۴"	۳۸° ۲۱' ۴۵/۴"	۲۵۷۲	۴۷° ۵۵' ۵۶/۳"	۳۸° ۲۵' ۴۱/۶"	۱۹۸۰
۴۷° ۵۰' ۲۴/۱"	۳۸° ۱۸' ۴۴/۲"	۳۱۳۱	۴۷° ۴۹' ۱۴/۸"	۳۸° ۲۱' ۴۷/۷"	۲۵۷۱	۴۷° ۵۵' ۵۷/۱"	۳۸° ۲۵' ۴۱/۶"	۱۹۷۹
۴۷° ۵۰' ۲۳/۲"	۳۸° ۱۸' ۴۴"	۳۱۳۱	۴۷° ۴۹' ۱۵/۵"	۳۸° ۲۱' ۴۷/۹"	۲۵۶۹	۴۷° ۵۵' ۵۷/۹"	۳۸° ۲۵' ۴۱/۵"	۱۹۸۲
۴۷° ۵۰' ۲۲/۷"	۳۸° ۱۸' ۴۳/۷"	۳۱۳۳	۴۷° ۴۹' ۱۶/۳"	۳۸° ۲۱' ۴۸/۳"	۲۵۶۷	۴۷° ۵۵' ۵۸/۷"	۳۸° ۲۵' ۴۱/۵"	۱۹۸۲
۴۷° ۵۰' ۲۱"	۳۸° ۱۸' ۴۱/۹"	۳۱۴۰	۴۷° ۴۹' ۱۷/۵"	۳۸° ۲۱' ۴۶/۹"	۲۵۸۳	۴۷° ۵۵' ۵۹/۱"	۳۸° ۲۵' ۳۹/۸"	۲۰۰۰
۴۷° ۵۰' ۲۱/۷"	۳۸° ۱۸' ۴۱/۹"	۳۱۴۴	۴۷° ۴۹' ۱۷/۱"	۳۸° ۲۱' ۴۶/۸"	۲۵۸۵	۴۷° ۵۵' ۵۸/۶"	۳۸° ۲۵' ۳۹/۸"	۱۹۹۸
۴۷° ۵۰' ۲۲/۵"	۳۸° ۱۸' ۴۲"	۳۱۴۶	۴۷° ۴۹' ۱۶/۳"	۳۸° ۲۱' ۴۶/۵"	۲۵۸۵	۴۷° ۵۵' ۵۷/۹"	۳۸° ۲۵' ۳۹/۹"	۱۹۹۷
۴۷° ۵۰' ۲۳/۴"	۳۸° ۱۸' ۴۲"	۳۱۴۷	۴۷° ۴۹' ۱۵/۵"	۳۸° ۲۱' ۴۶/۳"	۲۵۸۷	۴۷° ۵۵' ۵۷/۱"	۳۸° ۲۵' ۴۰"	۱۹۹۶
۴۷° ۵۰' ۲۴/۲"	۳۸° ۱۸' ۴۲"	۳۱۴۶	۴۷° ۴۹' ۱۴/۸"	۳۸° ۲۱' ۴۶/۱"	۲۵۸۸	۴۷° ۵۵' ۵۶/۴"	۳۸° ۲۵' ۴۰/۱"	۱۹۹۶
۴۷° ۵۰' ۲۵/۱"	۳۸° ۱۸' ۴۰/۵"	۳۱۷۲	۴۷° ۴۹' ۱۴/۶"	۳۸° ۲۱' ۴۴/۴"	۲۶۰۵	۴۷° ۵۵' ۵۶/۲"	۳۸° ۲۵' ۳۸/۲"	۲۰۲۰
۴۷° ۵۰' ۲۴/۲"	۳۸° ۱۸' ۴۰/۳"	۳۱۷۲	۴۷° ۴۹' ۱۵/۴"	۳۸° ۲۱' ۴۴/۷"	۲۶۰۷	۴۷° ۵۵' ۵۷/۱"	۳۸° ۲۵' ۳۸/۳"	۲۰۲۲
۴۷° ۵۰' ۲۳/۳"	۳۸° ۱۸' ۴۰/۲"	۳۱۷۵	۴۷° ۴۹' ۱۶/۲"	۳۸° ۲۱' ۴۵"	۲۶۰۳	۴۷° ۵۵' ۵۷/۹"	۳۸° ۲۵' ۳۸/۲"	۲۰۲۰
۴۷° ۵۰' ۲۲/۷"	۳۸° ۱۸' ۴۰/۲"	۳۱۷۵	۴۷° ۴۹' ۱۶/۸"	۳۸° ۲۱' ۴۵/۳"	۲۶۰۰	۴۷° ۵۵' ۵۸/۷"	۳۸° ۲۵' ۳۸/۳"	۲۰۱۹
۴۷° ۵۰' ۲۱/۸"	۳۸° ۱۸' ۳۹/۹"	۳۱۷۷	۴۷° ۴۹' ۱۷/۶"	۳۸° ۲۱' ۴۵/۶"	۲۵۹۹	۴۷° ۵۵' ۵۹/۵"	۳۸° ۲۵' ۳۸/۲"	۲۰۱۸

پیش پردازش تصاویر

سنجنده OLI لندست ۸ با طول موج طیفی باریک باعث بهبود ویژگی های کالیراسیون، هندسه دقیق، افزایش نسبت سیگنال به نویز و بهبود قدرت تفکیک رادیومتریک از ۸ بیت به ۱۲ بیت و در نتیجه توصیف بهتر پوشش زمین شده است (۲۰). با توجه به الگوی فنولوژیکی گیاهان یکساله و چندساله، زمان چرای دام (همزمان با حداکثر رشد گیاهان) و همچنین عدم پوشش نوار و ابر، تصاویر سنجنده OLI لندست ۸ با وضوح مکانی ۳۰ متر برای تاریخ ۲۳ خرداد ۱۳۹۴ (مسیر ۱۶۷، ردیف ۳۳) برای مطالعه انتخاب شد. میانگین بارندگی در این سال براساس ایستگاه های سینوپتیک موجود در منطقه مورد مطالعه ۳۴۷/۳ میلی متر است. تولید خالص اولیه در طی برداشت میدانی در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ اندازه گیری شد. تصاویر ماهواره ای با استفاده از ۱۶ نقطه کنترل زمینی (GPS) و UTM و WGS 84 زمین مرجع شد. با توجه به اینکه تصاویر لندست به صورت رادیومتریک نرمال شده اند، تصحیحات توپوگرافیک و اتمسفری با استفاده از بسط ATCOR در نرم افزار ERDAS IMAGINE 2015 انجام شد.

شاخص های گیاهی

هدف از ایجاد شاخص های پوشش گیاهی آن است که برخی ویژگی های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، بیومس، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی پیش بینی و ارزیابی شود. به طور کلی شاخص های پوشش گیاهی به دو دسته شاخص های نسبتی مانند NDVI، RVI، TVI و شاخص های فاصله ای مانند SAVI، PVI، MSAVI، WDAVI، TSAVI تقسیم می شود (۳۲). پیکسل ها با مقادیر مختلف پوشش گیاهی، خطوط با شیب های مختلف را می سازند. در یک شاخص نسبی، با افزایش مقدار پوشش گیاهی خطوط به باند مادون قرمز نزدیک، تمایل پیدا می کنند. در حالی که در شاخص های فاصله ای پیکسل ها با پوشش گیاهی بیش تر از خط خاک فاصله می گیرند. در تحقیق حاضر دو شاخص NDVI (Normalized difference vegetation index) و RVI (Ratio vegetation index) از شاخص های نسبتی و SAVI (soil-adjusted vegetation index) و PVI3 (Perpendicular vegetation index) از شاخص های فاصله ای انتخاب شدند.

با توجه به تأثیرپذیری کم شاخص NDVI از خصوصیات منطقه و سهولت در اجرا در مطالعات پوشش گیاهی کاربرد زیادی دارد. این شاخص به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص های پوشش گیاهی می تواند مناطقی را که دارای پوشش انبوه تری هستند، بهتر تفکیک کند. شاخص SAVI اثرهای خاک زمینه و رطوبت خاک موجود در شاخص NDVI را کاهش می دهد و مناسب مناطقی است که پوشش تنک و کم است. در شاخص PVI ضرایب خط خاک به کار رفته شده اثرات منفی خاک زمینه را به خوبی حذف کرده، در آن تفکیک پوشش گیاهی با صحت بالایی صورت می گیرد.

تجزیه و تحلیل داده ها

در ابتدا با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته وجود رابطه غیرخطی بین ANPP و برخی شاخص های گیاهی بررسی و سپس از توابع غیرخطی موجود به منظور مدل سازی تولید خالص اولیه استفاده شد.

مدل جمعی تعمیم یافته

مدل جمعی تعمیم یافته یک مدل ناپارامتری بوده و بسط مدل های خطی تعمیم یافته می باشد، اما برخلاف مدل خطی تعمیم یافته که در آن رابطه بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به وسیله رابطه ارائه می شود، داده ها شکل منحنی پاسخ را تعیین می کنند، از این رو این مدل ها به جای مدل محوری، داده محورند. یعنی نتایج پارامترهای به دست آمده از مدل پیشین استنباط نمی شود. در مدل جمعی تعمیم یافته فرض بر این است که متغیر پاسخ Y دارای توزیعی از خانواده نمایی می باشد که از طریق تابع پیوند (g) به متغیرهای پیشگو (X_j) متصل می شود. مدل های جمعی تعمیم یافته به صورت زیر بیان می شود:

$$g(\mu) = \alpha \sum_{j=1}^p f_j(x_j)$$

که در آن f_j ها توابعی نامعلوم و هموار و x_j متغیرهای پیش بینی کننده هستند. به طور خاص f_j از روی داده ها و با استفاده از روش های بهبود برازش و هموارسازی، نمودار پراکنش برآورد می شود. وجود هموارسازها در مدل های جمعی تعمیم یافته سبب توانایی این مدل در تجزیه و تحلیل داده های اکولوژیکی و مشخص کردن رابطه غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارند (۲). محاسبات مربوط به این بخش

با استفاده از نرم افزار آماری R3.5.1 و الحاقیه mgcv انجام شد.

رگرسیون غیر خطی

مدل های رگرسیونی، یک رابطه خطی یا غیر خطی از یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل ایجاد می کنند. به وسیله یک رابطه رگرسیونی می توان با معلوم بودن مقادیر متغیرهای مستقل، مقدار متغیر وابسته را تخمین زد. در این تحقیق از توابع آستانه (Peak)، گویا (Rationa)، چندگانه (Polynomial)، موجی شکل (Waveform)، سیگموئیدی و

لگاریتمی که خود شامل چندین تابع یک و چند پارامتری می شوند استفاده شد. معادلات مربوط به این توابع در جدول (۳) ارائه شده است. محاسبات مربوط به این بخش در نرم افزار SigmaPlot12 انجام شد.

ارزیابی مدل

صحت پیش بینی مدل ها از طریق معیارهای ارزیابی خطا شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطای نسبی (MARE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، و ضریب تبیین (R^2) صورت گرفت (۱۲).

جدول ۳: توابع غیر خطی مورد استفاده به منظور بررسی رابطه تولید خالص اولیه و شاخص های گیاهی

نوع تابع	معادله تابع
آستانه گوسی چهار پارامتری	$y = y_0 + a \exp(-0.5(\frac{x-x_0}{b})^2)$
گویا سه پارامتری نوع دو	$y = (a + bx)/(1 + cx)$
موجی شکل چهار پارامتری	$y = y_0 + a \sin(\frac{2\pi x}{b} + c)$
چندگانه درجه سوم	$y = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$
سیگموئیدی سه پارامتری	$y = a / (1 + \exp(-\frac{x-x_0}{b}))$
لگاریتمی دو پارامتری نوع یک	$y = y_0 + a \ln(abs(x))$

نتایج

نتایج مرتبط با مقدار تولید هر یک از فرم های رویشی در جدول (۴) ارائه شده است. به کارگیری مدل های جمعی تعمیم یافته برای هر یک از شاخص های گیاهی و تولید خالص اولیه کل و فرم رویشی به صورت انفرادی نشان می دهد که شاخص های گیاهی PVI3، NDVI و RVI دارای رابطه غیر خطی با تولید کل و فرم های رویشی هستند. اما شاخص SAVI با تولید خالص اولیه کل و گندمیان دارای

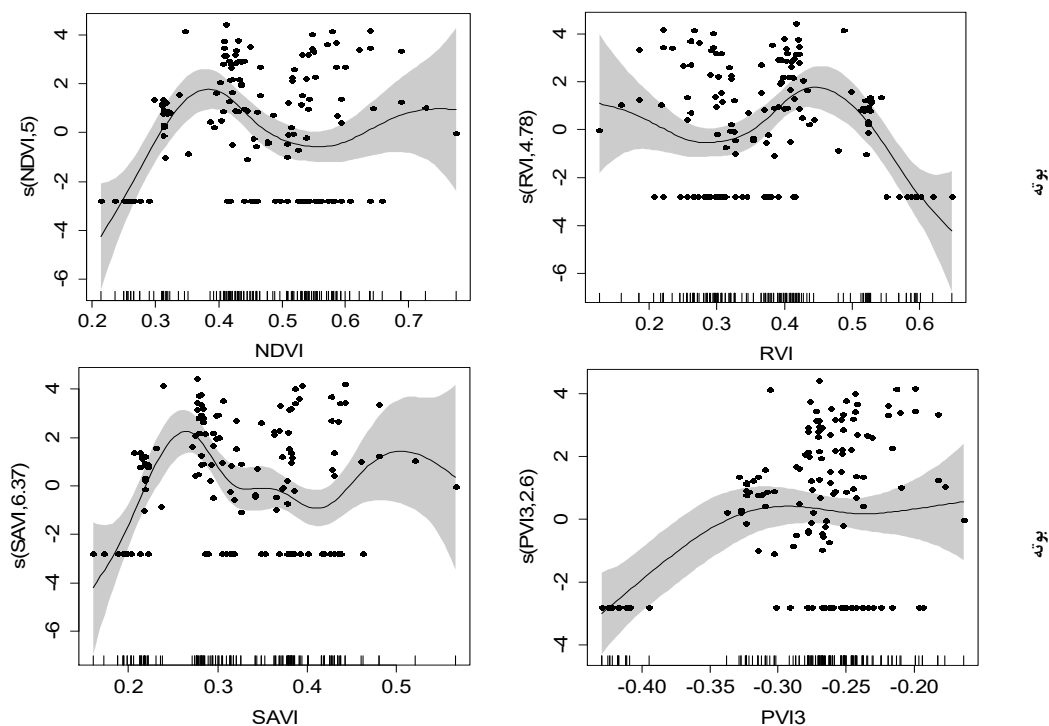
رابطه خطی است (شکل های ۲ و ۳). هم چنین همه شاخص های گیاهی دارای رابطه معنی دار با تولید خالص اولیه هستند (جدول ۵). رتبه بندی شاخص های گیاهی اثرگذار بر تولید خالص اولیه براساس ضریب تبیین نشان می دهد که با اهمیت ترین و کم اهمیت ترین شاخص گیاهی به ترتیب برای بوته SAVI و PVI3، گندمیان، پهن برگان علفی و کل PVI3 و SAVI هستند.

جدول ۴: مقدار تولید فرم های رویشی در محل های نمونه برداری

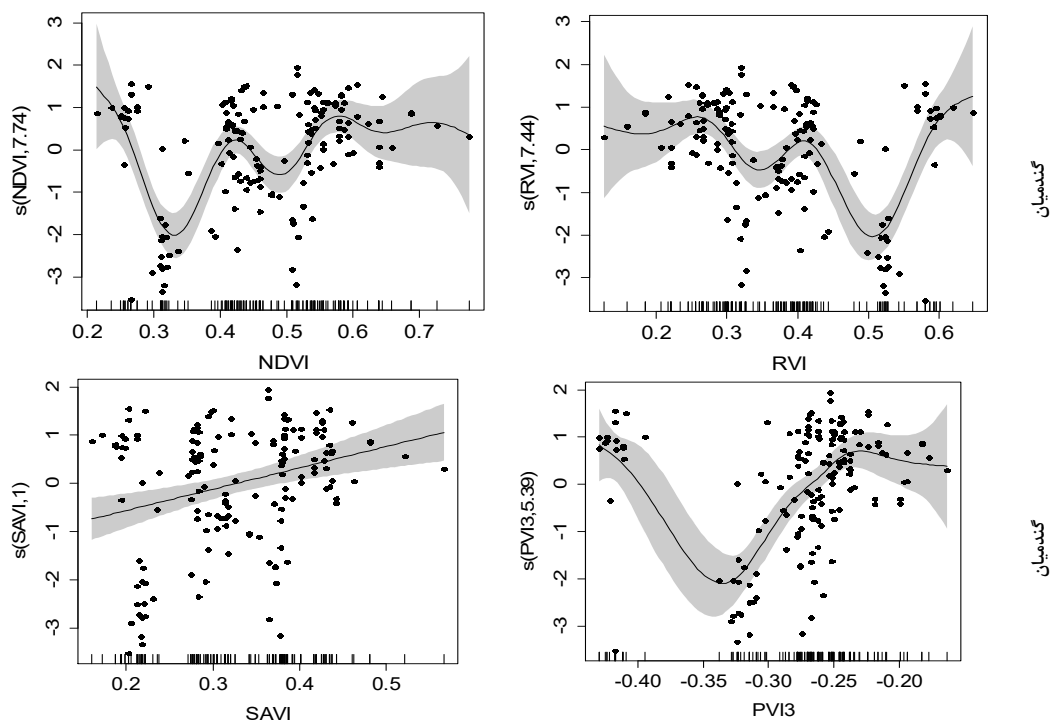
مکان نمونه برداری	پهن برگ علفی	گندمیان	بوته ها
چناق بلاغ	۵۹۹	۵۹۱	۷۷۱
پشته	۴۳۴	۱۲۸۳	۰
مس دره سی	۴۸۶	۴۲۸	۴۸۳
پورت دیبگلو	۳۹۸	۸۲۷	۶۴۴
لغ	۳۵۵	۸۱۶	۸۳۵
جوی چوخوری	۴۴۴	۱۴۵۵	۴۳۶
شیروان دره سی	۴۰۸	۱۰۱۱	۵۳۸
شیرافکن	۶۱۱	۱۹۰۱	۴۱۸
شایبل	۲۳۸	۱۰۲۹	۵۶

جدول ۵: نتایج برازش مدل جمعی تعمیم یافته نسبت به هر یک از شاخص های گیاهی به صورت انفرادی

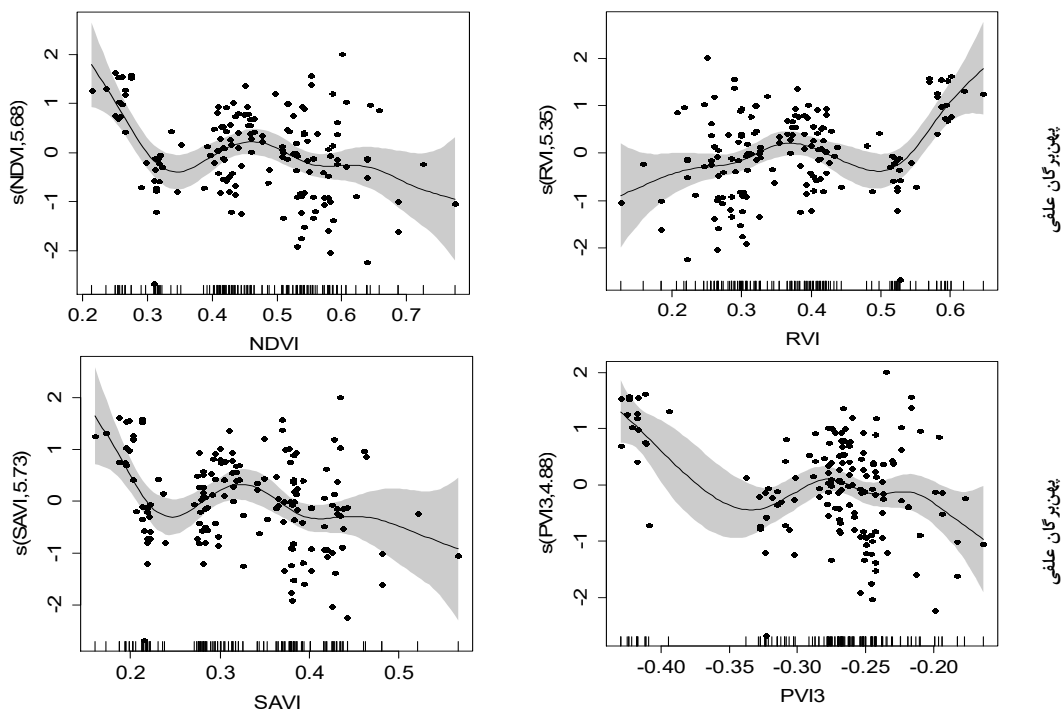
فرم رویشی	شاخص گیاهی	درجه آزادی مدل	p-value	درصد انحراف توجیه شده	ضریب تبیین تعدیل شده
بوته	NDVI	۵/۳۶	۰/۰۰	۲۵/۰۰	۰/۲۲
	RVI	۶/۱۹	۰/۰۰	۲۶/۰۳	۰/۲۳
	SAVI	۷/۶۹	۰/۰۰	۲۹/۰۰	۰/۲۵
	PVI3	۳/۰۸	۰/۰۰	۱۵/۹۰	۰/۱۴
گندمیان	NDVI	۸/۲۷	۰/۰۰	۴۰/۰۰	۰/۳۷
	RVI	۷/۷۹	۰/۰۰	۳۹/۰۳	۰/۳۶
	SAVI	۷/۴۲	۰/۰۰	۲۴/۹۰	۰/۲۱
	PVI3	۶/۸۳	۰/۰۰	۴۲/۲۰	۰/۴۰
پهن برگان علفی	NDVI	۶/۲۹	۰/۰۰	۲۴/۰۰	۰/۲۰
	RVI	۷/۵۸	۰/۰۰	۲۶/۴۰	۰/۲۳
	SAVI	۶/۸۷	۰/۰۰	۲۱/۳۰	۰/۱۷
	PVI3	۷/۲۴	۰/۰۰	۲۸/۴۰	۰/۲۵
تولید خالص اولیه کل	NDVI	۸/۳۱	۰/۰۰	۳۶/۵۰	۰/۳۳
	RVI	۷/۷۸	۰/۰۰	۳۶/۴۰	۰/۳۶
	SAVI	۷/۱۳	۰/۰۰	۲۱/۰۰	۰/۱۶
	PVI3	۶/۲۷	۰/۰۰	۴۲/۲۰	۰/۴۰



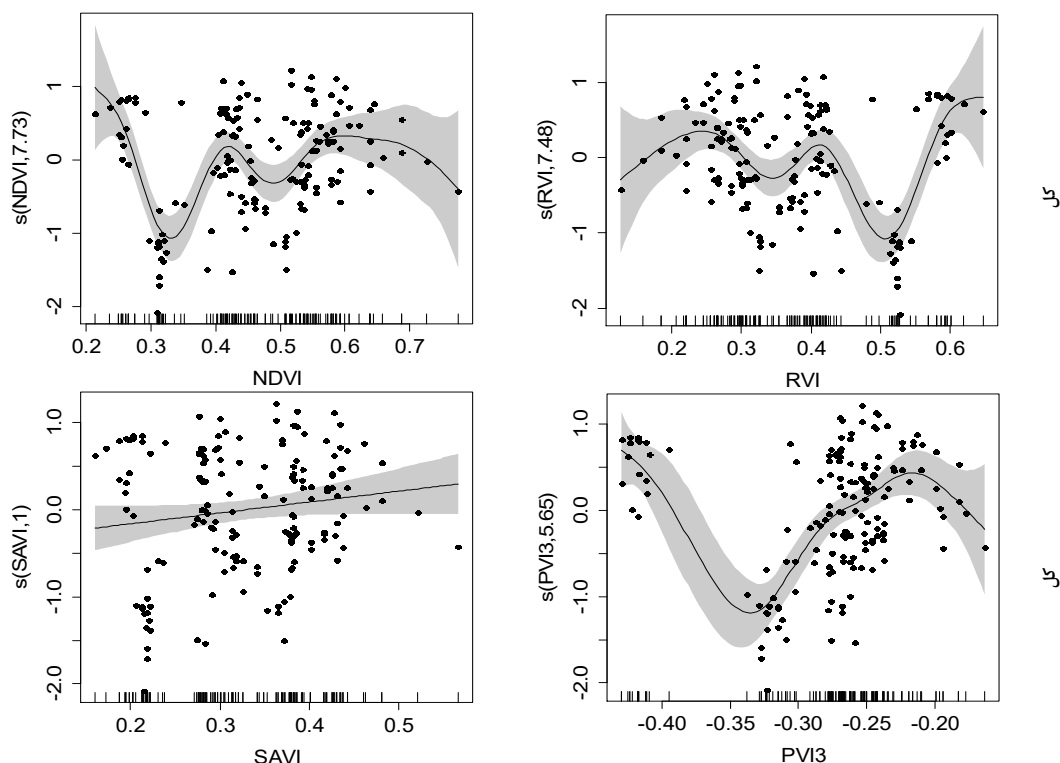
شکل ۲: رابطه تولید خالص اولیه بوته ها و گندمیان با شاخص های گیاهی مورد بررسی به صورت انفرادی. محور افقی مقادیر شاخص های پوشش گیاهی و محور عمودی تاثیر تابع هموار ساز بر روی مقادیر میانگین متغیر پاسخ (تولید خالص اولیه سطح زمین) را نشان می دهد. نقاط و خط سیاه رنگ به ترتیب نشان دهنده پلات های نمونه برداری و مقادیر تولید خالص اولیه ثبت شده است. محدوده خاکستری رنگ اطراف خط سیاه نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد اطراف مقادیر پیش بینی شده است.



ادامه شکل ۲



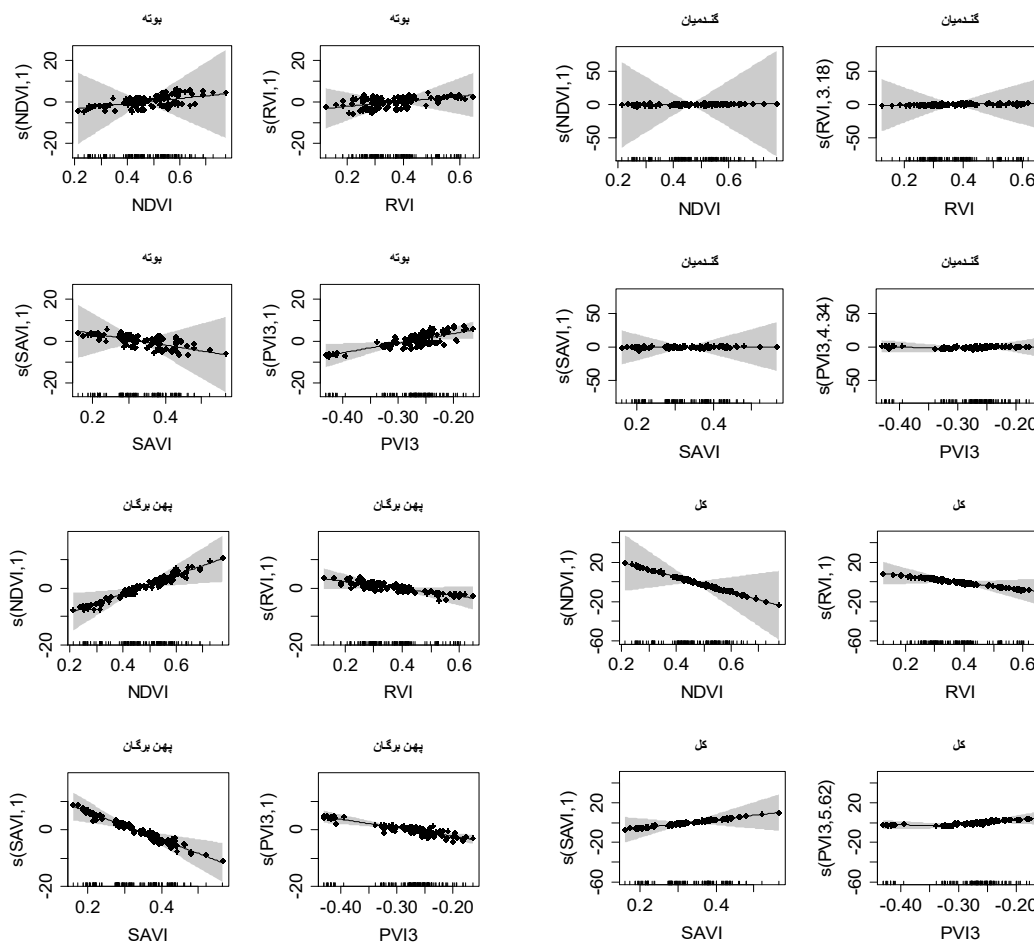
شکل ۳: رابطه تولید خالص اولیه پهن‌برگان علفی و کل با شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به‌صوت انفرادی



ادامه شکل ۳

انفرادی رابطه معنی‌داری با تولید خالص اولیه دارند در حالی که به‌صورت توأمان با سایر شاخص‌های گیاهی تأثیر آن‌ها معنی‌دار نیست. براساس جدول (۶) و مقدار ضریب تبیین و معنی‌داری، برای مدل‌سازی بوته‌ها از شاخص SAVI و برای گندمیان، پهن‌برگان علفی و کل از شاخص PVI3 استفاده شد. نتایج نشان داد که با استفاده از شاخص‌های گیاهی و رگرسیون خطی امکان برآورد تولید خالص اولیه وجود دارد.

به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین شاخص گیاهی برای مدل‌سازی تولید خالص اولیه، رابطه شاخص‌ها و تولید خالص اولیه به‌صورت جمعی نیز بررسی شد. نمودارهای حاصل از مدل جمعی تعمیم‌یافته برای متغیرهای تعیین شده به‌صورت انفرادی و ترکیبی نشان می‌دهد که اختلاف قابل توجهی در شکل منحنی پاسخ وجود دارد. هم‌چنین در خصوص معنی‌داری تعدادی از متغیرهای تعیین شده نیز تفاوت‌هایی وجود دارد و برخی شاخص‌های گیاهی به‌صورت



شکل ۴: منحنی پاسخ تولید خالص اولیه کل و فرم‌های رویشی به شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به صوت توامان. محور افقی مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی و محور عمودی تاثیر تابع هموارساز بر روی مقادیر میانگین متغیر پاسخ (تولید خالص اولیه سطح زمین) را نشان می‌دهد. نقاط و خط سیاه رنگ به ترتیب نشان دهنده پلات‌های نمونه‌برداری و مقادیر تولید خالص اولیه ثبت شده است. محدوده خاکستری رنگ اطراف خط سیاه نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد اطراف مقادیر پیش بینی شده است.

جدول ۶: نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته با شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به صورت توامان

فرم رویشی	NDVI	RVI	SAVI	PVI3
بوته	درجه آزادی مدل	۱	۵/۹۴	۱
	p-value	۰/۷۸	۰/۰۵	۰/۷۱
گندمیان	درجه آزادی مدل	۴/۸۴	۱	۴/۰۵
	p-value	۰/۰۹	۰/۸۹	۰/۰۰
پهن برگان علفی	درجه آزادی مدل	۱	۴/۱۴	۵/۹۰
	p-value	۰/۹۰	۰/۲۱	۰/۰۳
تولید کل	درجه آزادی مدل	۳/۶۳	۱	۴/۹۳
	p-value	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۰۰

(جدول ۷). برای مثال مقدار R^2 برای بوته ها از ۰/۲۴ به ۰/۷۴ افزایش یافته است. میزان ضریب تبیین برای تولید کل بیش تر از فرم های رویشی است و از میان فرم های رویشی پهن برگان علفی کم ترین مقدار ضریب تبیین را دارند.

در این تحقیق برای نرمال کردن داده های تولید از لگاریتم استفاده شد و رابطه رگرسیونی بین لگاریتم ANPP و شاخص گیاهی برقرار شد. نتایج مدل سازی نشان داد که رگرسیون غیر خطی به طور قابل توجهی باعث افزایش صحت برآورد ANPP با استفاده از شاخص های گیاهی شده است

جدول ۷: مدل های برآورد تولید خالص اولیه کل و فرم های رویشی با استفاده از شاخص های گیاهی معنی دار در آزمون مدل جمعی

تعمیم یافته							
مدل	نوع رابطه	ضریب تبیین	p-value	RMSE	MBE	MARE	
$Y_{shrubs} = -15.2470 + 528.1210 \cdot SAVI - 1693.6917 \cdot SAVI^2 + 1763.9068 \cdot SAVI^3$	غیر خطی	۰/۷۴	۰/۰۵	۲۹۷/۹۷	۲۲/۶۱	۱/۱۰	
$Y_{shrubs} = 0.381 + 5.042 \cdot SAVI$	خطی	۰/۲۴	۰/۱۷	۳۱۴/۷۵	۱۳۶/۸۹	۱/۵۳	
$Y_{grasses} = 2.5328 + 0.6749 \cdot \sin\left(\frac{6.238 \cdot PVB}{0.1975}\right) + 2.6326$	غیر خطی	۰/۷۵	۰/۰۵	۳۷۴/۲۸	۷۹/۴۰	۰/۳۹	
$Y_{grasses} = 3.030 + 0.908 \cdot PVB$	خطی	۰/۰۱	۰/۷۶	۶۴۲/۱۶	۲۶۹/۴۳	۱/۳۰	
$Y_{forbs} = \frac{2.7298 + (7.6448 \cdot PVB)}{1 + (2.7603 \cdot PVB)}$	غیر خطی	۰/۵۶	۰/۰۵	۱۳۱/۶۲	۱۹/۴۹	۰/۲۴	
$Y_{forbs} = 2.166 - 1.738 \cdot PVB$	خطی	۰/۲۵	۰/۱۶	۱۸۹/۲۷	۳۹/۷۱	۰/۳۵	
$Y_{total} = 3.3159 - 2.2856 \cdot \exp\left(-5 \cdot \left(\frac{PVB + .3005}{0.0116}\right)^2\right)$	غیر خطی	۰/۸۰	۰/۰۳	۵۰۴/۳۸	۷۰/۴۰	۰/۲۲	
$Y_{total} = 3.273 + 0.452 \cdot PVB$	خطی	۰/۰۰	۰/۸۰	۸۵۰/۹۸	۲۴۹/۸۱	۰/۶۵	

Y: متغیر پاسخ یا همان مقدار تولید خالص اولیه سطح زمین برای فرم های رویشی بوته (shrubs)، گندیمان (grasses)، پهن برگان علفی (forbs) و کل (total)، SAVI و PVI3. شاخص های گیاهی سنجش از دوری.

پوشش گیاهی در مناطقی که دارای پوشش انبوه تری (مناطق که پوشش گیاهی بیش از ۶۰ درصد باشد و تشخیص طیف های خاک امکان پذیر نخواهد بود) هستند، پاسخ بهتری ارائه می کند (۱۵). بورک و لبلنک (۲۰۰۱) در بررسی رابطه شاخص سطح برگ و شاخص های گیاهی و پردل و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی فیتومس گیاهی و شاخص های گیاهی نتایجی مشابه با این تحقیق را بدست آورده و دریافتند که توانایی پیش بینی سایر شاخص های گیاهی بیش تر از NDVI در برآورد ویژگی های پوشش گیاهی است.

شاخص های خط خاک استفاده شده در این تحقیق (SAVI و PVI3) در مقایسه با شاخص های RVI و NDVI همبستگی بیش تری در زمینه تولید خالص اولیه از خود نشان دادند. زیرا شاخص های که بر مبنای شیب هستند به شدت تحت تاثیر متغیرهای روشنایی در زمینه تاج پوشش گیاهی قرار دارند و شناسایی میان پوشش گیاهی و تغییراتی که به سبب خاک بر روی آن ها اعمال می گردد، توسط این

بحث و نتیجه گیری

با توجه به اینکه دسترسی به اکثر مناطق کوهستانی مانند سبلان به دلایل فیزیکی و امنیتی دشوار است، سنجش از راه دور اغلب تنها راه تحقیق بخش های بزرگی از سطح زمین است. در روش های سنجش از دور مدل هایی که برای تخمین میزان بیومس ارائه شده اند عموماً بر محاسبه شاخص های گیاهی استوارند که با استفاده از این شاخص ها و با فرض یک نوع تابع خطی، لگاریتمی یا نمایی پارامترهای تابع محاسبه و میزان بیومس تخمین زده می شود. در تحقیق حاضر بر خلاف انتظار شاخص پوشش گیاهی NDVI، که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی کاربردهای فراوانی دارد و افزایش مقادیر آن بیانگر وجود پوشش گیاهی بیش تر در منطقه است (۲۴)، در مدل جمعی تعمیم یافته و بررسی توامان رابطه شاخص های گیاهی و ANPP رابطه معنی داری را نشان نداد. این مسئله می تواند به دلیل پوشش گیاهی متوسط منطقه باشد. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که این شاخص به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص های

شاخص‌ها مشکل است. از این رو در منطقه مورد مطالعه که همراه با برون زدگی سنگی زیاد است، به دلیل تاثیر برون زدگی‌های سنگی بر بازتاب نور، شاخص‌های شیب قادر به شناسایی پوشش گیاهی نبوده‌اند. در حالی که شاخص‌هایی مانند PVI و شاخص تعدیل شده خاک (SAVI) که در ناحیه مادون قرمز مرئی و قرمز وجود دارند، تحت تاثیر خصوصیات خاک قرار نمی‌گیرند (۲۸). این نتیجه مغایر با نتایج میری و همکاران (۲۰۱۶) است که شاخص‌های خط خاک را در مقایسه با شاخص‌های SR و NDVI در برآورد شاخص سطح برگ مفید ارزیابی کردند. آن‌ها بیان کردند که دلیل این مسئله را می‌توان در تراکم متوسط توده‌های درختی به همراه پوشش علفی خشک شده کف جنگل و اثرگذار نبودن بازتاب سطح خاک، جستجو کرد.

بر اساس نتایج، فرم‌های رویشی مختلف هم از جهت میزان همبستگی با شاخص‌های گیاهی و هم شاخص گیاهی مناسب به منظور برآورد تولید آن‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. این مسئله احتمالا به دلیل تفاوت بین فرم‌های رویشی مختلف از جهت مقدار آب، ساختمان سلول، مقدار کلروفیل، ساختمان گیاه و ویژگی‌های مورفولوژیک مانند نوع تاج پوشش گیاهی، شکل برگ و نیز تنوع در فعالیت‌های زیستی است که در نهایت منجر به تفاوت در مقدار بازتاب از پوشش گیاهی می‌شود (۱۹). نتایج ما نشان داد که تولید خالص اولیه بوته‌ها همبستگی معنی‌داری با شاخص SAVI دارد. معنی‌دار شدن شاخص SAVI با ضریب تبیین بالا حکایت از آن دارد که خاک زمینه سهم بالایی در بازتاب ثبت شده دارد. از آنجایی که دو باند ۳ و ۴ در این شاخص حضور دارد، بنابراین هریک از این باندها (به دلیل انعکاس پوشش گیاهی در محدوده مادون قرمز نزدیک و جذب رنگدانه‌های گیاهی خصوصا کلروفیل در محدوده طیفی قرمز) قابلیت تخمین پوشش گیاهی را دارند. این مسئله را می‌توان این گونه توجیه کرد که زمان تصویربرداری مطابق با خرداد ماه بوده و با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه، بوته‌ها به طور کامل رشد نکرده و خاک دارای پوشش کاملی نمی‌باشد. از این رو شاخص‌های گروه خط خاک بازتاب خاک زمینه را کاهش داده و توانایی خوبی در برآورد مقادیر کم پوشش گیاهی بوته‌ای داشته‌اند (۲۸). همچنین نتایج نشان داد که شاخص PVI3 رابطه معنی‌داری با تولید

خالص اولیه گندمیان دارد که مغایر با نتایج زرینه و همکاران (۲۰۱۳) است. آن‌ها نشان دادند که از بین شاخص‌های گیاهی مورد بررسی شاخص DVI بیش‌ترین و شاخص PVI کم‌ترین ضریب همبستگی معنی‌دار را با تولید گندمیان دارد. تولید پهن‌برگان علفی با شاخص PVI3 رابطه معنی‌داری دارد اما ضریب تبیین آن پایین‌تر از سایر فرم‌های رویشی است. زرینه و همکاران (۲۰۱۳) نیز در تحقیق خود نشان دادند که تولید گیاهان پهن‌برگ علفی به طور مستقل با هیچ یک از شاخص‌های گیاهی مورد بررسی همبستگی معنی‌دار نداشته است. آن‌ها بیان کردند که احتمالا تولید این گروه از گیاهان در ابتدای فصل رشد پایین بوده و فعالیت فتوسنتزی آن‌ها به اندازه‌ای نبوده است که سنجنده بتواند ثبت کند. در حالی که در مطالعه قربانی و همکاران (۲۰۱۷) میزان ضریب همبستگی بین تولید پهن‌برگان علفی و شاخص‌های گیاهی در مقایسه با شکل‌های رویشی دیگر بیش‌تر بوده است. آن‌ها بیان کردند که پوشش پهن‌برگ علفی در زمان تصویربرداری سبز بوده و از نظر اندازه و زاویه قرار گرفتن برگ‌ها روی ساقه نیز که از ویژگی‌های پهن‌برگان است در مقایسه با گندمیان و بوته‌ها که افقی‌ترند و اندازه آن‌ها نیز بزرگ‌تر به نظر می‌رسد، به همین دلیل این شکل رویشی توانسته است بازتاب بیش‌تری در مقایسه با گروه‌های دیگر داشته باشد و روابط معنی‌دارتری با شاخص‌های محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای نشان دهند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برآورد ANPP استفاده از شاخص‌های گیاهی در سطح کل بهتر از فرم‌های رویشی است که مغایر با نتایج زرینه و همکاران (۲۰۱۳) است. آن‌ها بیان کردند که با توجه به بالا بودن ضریب تبیین تولید خالص اولیه کل نسبت به فرم‌های رویشی به نظر می‌رسد که عدم قطعیت بیش‌تری برای تخمین تولید کل وجود دارد، که می‌تواند به علت خطای اندازه‌گیری تولید بوته‌ها در شروع فصل رشد باشد، زیرا تولید بوته‌ها در مقایسه با تولید گیاهان دیگر نظیر گندمیان اندک است و همین مقدار مختصر نیز کم‌تر در معرض سنجنده قرار می‌گیرد. تحقیق سلمان بیاتی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بین درصد پوشش گیاهی کل و شاخص‌های گیاهی نسبت به فرم‌های رویشی همبستگی کم‌تری وجود دارد.

آن ها می توانند مقدار بیوماس را با استفاده از شاخص های گیاهی با صحت قابل قبولی پیش بینی کنند. همچنین می توان نتیجه گیری نمود در نظر گرفتن توأمان متغیرهای تبیینی که در این مطالعه شاخص های گیاهی هستند، توصیف صحیح تری از ارتباط شاخص ها و ANPP ارائه می دهد. به طوری که در مدل تعمیم یافته تجمعی به صورت انفرادی، همه شاخص های گیاهی مورد بررسی دارای رابطه معنی داری با ANPP بودند در حالی که در حالت توأمان برخی شاخص ها رابطه معنی داری را نشان ندادند.

به طور کلی پژوهش حاضر، قابلیت تصویر سنجند OLI به منظور برآورد تولید خالص اولیه را تایید می کند. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، تصویر OLI و استفاده از مدل های رگرسیونی غیرخطی توانستند به مقدار مناسبی ANPP را در منطقه پژوهش برآورد کنند. از این رو در صورت کسب نتایج مشابه در دیگر مناطق اردبیل، امکان تعمیم نتایج و زمینه برآورد این شاخص اکولوژیکی مهم با صرف زمان و هزینه کم تر فراهم خواهد شد. همچنین از این ابزار می توان جهت تأمین اطلاعات از میزان تولید علوفه و در نتیجه تعیین ظرفیت و میزان دام در این تاریخ و همچنین میزان تخریب مرتع، استفاده کرد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان از حمایت این معاونت سپاسگزاری می کنند.

براساس نظر آن ها زمانی که تیپ های گیاهی مختلف به صورت یکجا بررسی می شوند به دلیل تنوع فرم رویشی و نوع گونه های گیاهی که باعث اختلاف طیفی می گردد، همبستگی شاخص ها و درصد پوشش کل کاهش می یابد. در تحقیق حاضر شاخص مناسب برآورد تولید خالص اولیه پهن برگان علفی و گندمیان مشابه کل بوده است و در کار قربانی و همکاران (۲۰۱۷) نیز شاخص های مناسب برآورد کل مشابه پهن برگان علفی بوده است. علت این امر می تواند پوشش مراتع منطقه مورد مطالعه باشد که عمدتاً پوشیده از گونه های گندمیان و پهن برگان علفی است به گونه ای که گندمیان، پهن برگان علفی و بوته ها به ترتیب ۴۴/۵۰، ۳۸/۳۹ و ۱۷/۰۹ درصد از پوشش گیاهی را شامل می شوند.

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با قربانی و همکاران (۲۰۱۷) که در همین منطقه انجام و برآوردها با استفاده از رگرسیون خطی صورت گرفته است نشان می دهد که رگرسیون غیرخطی به افزایش صحت برآوردها در منطقه مورد مطالعه کمک کرده است. ضریب تبیین بین تولید خالص اولیه بوته ها، گندمیان، پهن برگان علفی و کل در تحقیق حاضر به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۵، ۰/۵۶ و ۰/۸۰ و در تحقیق قربانی و همکاران (۲۰۱۷) ۰/۱۴، ۰/۲۳، ۰/۲۹ و ۰/۱۴ است. لیو و همکاران (۲۰۰۶) به منظور برآورد بیومس گیاهی با استفاده از شاخص های گیاهی DVI، SAVI، RVI و NDVI از مدل های رگرسیونی خطی و غیرخطی استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که به طور کلی، مدل های غیرخطی بهتر از مدل های خطی عمل می کنند، اگر چه همه

References

1. Abdolalazadeh, Z., A. Ghorbani, R. Mostafazadeh & M. Moameri, 2020. Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13: 245.
2. Alavi, S.J., Z. Nouri & Gh. Zahedi Amiri, 2017. The response curve of beech tree (*Fagus orientalis* Lipsky.) in relation to environmental variables using generalized additive model. *Wood and Forest Science and Technology*, 24 (1): 29-42. (In Persian)
3. Aliabadi, K. & A. Entezari., 2013. Estimation of physical parameter (biomass) of vegetation using remote sensing data. *Iranian Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 15(4): 23-33. (In Persian)
4. An, N., K.P. Price & J.M. Blair, 2013. Estimating above-ground net primary productivity of the tallgrass prairie ecosystem of the Central Great Plains using AVHRR NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 34(11): 3717-3735.
5. Arzani, H. & M. Abedi., 2015. *Rangeland evaluation: Vegetation Measurement*, Tehran University Press, 305 p. (In Persian)
6. Borge, N.H. & E. Leblanc., 2001. Comparing prediction power and stability of broadband and hyper spectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Journal Remote Sensing of Environment*, 76: 156-172.

7. Dadjou, F., A Ghorbani, M. Moameri & 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 Range and Desert Research*, 25(3): 577-593.
8. Deka, J., J.Y. Yumnam, P. Mahanta & O.P. Tripathi, 2015. Improvement in estimation of above ground biomass of *Albizia lebbeck* using fraction reflectance of landsat TM data. *Journal Plant and Environment*, 1(1): 99-105.
9. Eisfelder, C., C. Kuenzer & S. Dech, 2012. Derivation of biomass information for semi-arid areas using remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 33(9): 2937-2984.
10. Eisfelder, C., C. Kuenzer, S. Dech & M.F. Buchroithner, 2013. Comparison of two remote sensing-based models for regional net primary productivity estimation-A case study in semi-arid central Kazakhstan. *J. IEEE Journal on Selected Topics in Earth Observation and Remote Sensing*, 6(4): 1843-1856.
11. Eisfelder, C., I. Klein, M. Niklaus & C. Kuenzer, 2014. Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables. *Journal of Arid Environment*, 103: 17-30.
12. Elshorbagy A., G. Corzo, S. Srinivasulu & D. Solomatine, 2009. Experimental investigation of the predictive capabilities of soft computing techniques in hydrology. Centre for Advanced Numerical Simulation (CANSIM). Department of Civil & Geological Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, CANADA.
13. Freeman, K., K. Girma, D. Arnall, R. Mullen, K. Martin, R. Teal & W. Raun, 2007. Byplant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agronomy Journal*, 99: 530-536.
14. George, M.R., W.A. Williams, N.K. Mcdougald, W.J. Clawson & A.H. Murphy RPHY, 1989. Predicting peak standing crop on annual range using weather variables. *Journal of Range Management*, 42(6): 508-513.
15. Ghaemi, M., H. Sanaei Nejad, A. Astaraie & P. Mirhoseini, 2010. Investigation and comparison of different vegetation indices using satellite imagery ETM for vegetation studies in Neyshabur Plain, Razavi Khorasan. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1): 127-137. (In Persian)
16. Ghorbani, A., A. Pourmemati & M. Panahandeh, 2017. Estimating and mapping Sabalan rangelands aboveground phytomass using Landsat-8 images. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(1): 165-180. (In Persian)
17. Ghorbani, A., F. Dadjou, M. Moameri, M. Bidar Lord & 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 Persian)
18. Ghorbani, A., F. Dadjou, M. Moameri & A. Biswas, 2020. Estimating Aboveground Net Primary Production (ANPP) Using Landsat 8-Based Indices: A Case Study from Hir-Neur Rangelands, Iran. *Rangeland Ecology & Management*, 73: 649-57.
19. Hadian, F., R. Jaffari, H. Bashari & S. Soltani, 2012. Evaluation of diferent groups of vegetation idices in the study of rangelands aggregation. *Journal of Rangeland*, 5: 420-425. (In Persian)
20. Kumar, L., P. Sinha, S. Taylor & A.F. Alqurashi, 2015. Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1): 097696.
21. Liu, W., W. Gao, Z. Gao & X. Wang, 2006. Correlation analysis between the biomass of oasis ecosystem and the vegetation index at Fukang. In *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III*, 6298: 62982.
22. Ma, W.H., J.Y. Fang, Y.H. Yang & A. Mohammad, 2010. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982-2006. *Journal of Science China Life Sciences*, 53(7): 841-850.
23. Masemola, C., M. Cho & A. Ramoelo, 2016. Comparison of Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM + for estimating Grassland LAI using model inversion and spectral indices: case study of Mpumalanga, South Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 37(18): 4401-4419.
24. Miri, N.A., A. Darvishsefat, N. Zargham & Z. Shakeri, 2016. Estimation of leaf area index in Zagros forests using Landsat 8 data. *Iranian Journal of Forest*, 9(1): 29-42. (In Persian)
25. Pordel, F., A. Ebrahimi & Z. Azizi, 2017. Evaluating spatio-temporal phytomass changes using vegetation index derived from Landsat 8 (Case study: Mrajan rangeland, Boroujen). *Journal of Rangeland*, 11(2), 166-178.
26. Rayegani, B., Gh. Zehtabian, H. Azarnivand, S.K. alavipanah & S.J. Khajeddin, 2015. LADA method Performance evaluation on soil degradation assessment in the East of Esfahan. *Journal of Range and Watershed Management*, 68(1): 109-129. (In Persian)
27. Salman bayati, T., Z. Hoseini Rashtian & A. Alirezaee, 2018. Comparison of accuracy of different sampling methods for vegetation cover percentage in remote sensing studies (case study: Abas Abad rangelands of Hamadan). *Journal of Rangeland*, 12(2): 169-179. (In Persian)

28. Sanaei Nejad, H., A. Astaraie, P. Mirhoseini & A. Keshavarzi, 2009. Using Satellite Images for Vegetation Studies (Comparison of Different Vegetation Indices -Case Study of Neishabour Area). Fifth National Congress on Agricultural Machinery engineering and Mechanization, Mashhad. (In Persian)
29. Sharifi, J., A. Ghorbani, M. Fayaz & P. Ashory. 2016. Vegetation types and plant life forms in alpine rangelands Sabalan in Ardabil. Iranian Journal Natural Ecosystems of Iran, 7(2): 65-75. (In Persian)
30. Solaimani, K., F. Shokrian, R. Tamartash & M. Banihashemi, 2015. Determination of vegetative forms using LISSIII data in Nojmeh rangeland. Journal of Range and Desert Research, 22(3): 455-465. (In Persian)
31. Xu, B., X. Yang, W. Tao, Z. Qin, H. Liu, J. Miao & Y. Bi, 2008. MODIS-based remote sensing monitoring of grass production in China. International Journal of Remote Sensing, 29(17): 5313-5327.
32. Xue, J. & B. Su., 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. Sensors, 10: 1-17.
33. Zarineh, E., M. Naderi Khorasgani & E. Asadi Borujeni, 2013. Estimating the rangeland vegetation cover of Tange Sayyad Region (Chaharmahal-oBakhtiary Province) using IRS LISS-III data. Journal of Environmental Studies, 38(1): 117-130. (In Persian)