Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

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

Samaneh Mohammadi Moghaddam [1], Ardavan Ghorbani*[2], Hossein Arzani[3], Javanshir Azizi Mobaser[4], Raoof Mostafazadeh[5]

1. P.hD Student in Range Management, Dep. of Range and Watershed Management, Faculty of Agricultre and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Corresponding author; Prof., Dep. of Range and Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabibli, Ardabil, Iran. E-mail: a_ghorbani@uma.ac.ir
3. Prof., Dep. of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Associate Prof., Dep. of water engineering, Faculty of Agricultre and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
5. Associate Prof., Dep. of Range and Watershed Management, Faculty of Agricultre and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabibli, 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: Todays, with advances 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 decisions in rangelands, is the above ground net primary production. The traditional method of estimating ANPP is clipping and weighing. The high cost, time and difficulty in collecting 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 and altitude ranges from 1500 to 3300 meters in 2016. Nine sites were selected in study area and in each site three 100 m transects was 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 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 selected for June. 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 capacity and amount of livestock, as well as the amount 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).
DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.1.3
Publisher: Iranian Society for Range Management

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

مدل‌سازی تولید خالص اولیه سطح زمین مراتع سبلان با استفاده از شاخص‌های گیاهی و رگرسیون غیرخطی

سمانه محمدی مقدم[۱]، اردوان قربانی*[۲]، حسین ارزانی[۳]، جوانشیر عزیزی مبصر[۴] و رئوف مصطفی‌زاده[۵]

۱. دانشجوی دکتیر 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. رایانامه: a_ghorbani@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

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۳
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۴

واژه‌های کلیدی:
تولید مراتع،
داده ماهواره‌ای،
NDVI،
RVI،
PVI3،
SAVI

چکیده

سابقه و هدف: امروزه با پیشرفت سنجنده‌های ماهواره‌ای، نقش آن‌ها در کسب اطلاعات و بررسی عوارض و پدیده‌های زمین اهمیتی روز افزون یافته است. یکی از این اطلاعات ارزشمند که مبنای بسیاری از برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها را در مراتع تشکیل می‌دهد تولید خالص اولیه سطح زمین است. روش سنتی برآورد تولید، استفاده از اندازه‌گیری زمینی است. هزینه بالا، زمان‌بر و طاقت‌فرسا بودن جمع‌آوری داده‌های زمینی از محدودیت‌های روش سنتی می‌باشد و این روش را برای برآورد تولید مناطق با وسعت بالا فوق‌العاده مشکل و پرهزینه می‌نماید. از این‌رو هدف این تحقیق مدل‌سازی تولید خالص اولیه سطح زمین با استفاده از شاخص‌های گیاهی است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری 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 بوته‌ها، گندمیان و پهن‌برگان علفی برداشت شد. نمونه‌های تولید خالص اولیه سطح زمین به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس به‌منظور تعیین وزن خشک آن‌ها، توزین شدند. هم‌چنین شاخص‌های 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 تعمیم‌یافته در نرم افزار R، رابطه تولید خالص اولیه کل و فرم‌های رویشی با شاخص‌های گیاهی به‌صورت انفرادی و ترکیبی به‌دست آمد. در نهایت تولید خالص اولیه سطح زمین با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی مدل‌سازی شد.

نتایج: به‌کارگیری مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته برای هر یک از شاخص‌های گیاهی و تولید خالص اولیه کل و فرم رویشی به‌صورت انفرادی نشان می‌دهد که شاخص‌های گیاهی NDVI، PVI3 و RVI دارای رابطه غیرخطی با تولید کل و فرم‌های رویشی هستند. اما شاخص SAVI با تولید خالص اولیه سطح زمین کل و گندمیان دارای 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 به‌ترتیب 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 توامان 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 هزینهٔ 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): ۳۴-۵۱.

DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.1.3

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران © نویسندگان

مقدمه

تولید خالص اولیه سطح زمین (ANPP[1]) مراتع یک مولفه مهم از چرخه کربن جهانی است (۱۹). تولید خالص اولیه، ماده خشک تولید شده توسط قسمت سبز گیاه در واحد سطح و زمان است (۱۵). 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 (۸). 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 (۷). تعیین مقدار و پایش ANPP امکان شناخت فرآیند تخریب مرتع و اتخاذ راهکار برای احیاء آن را فراهم می‌نماید (۹). 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 (۴). بنابراین درک الگوهای زمانی و مکانی ANPP و برآورد آن یک پیش شرط برای مدیریت سیستم‌های چرایی 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 (۶). اولین مدل‌سازی‌ها در زمینه برآورد ANPP به اواسط قرن ۱۹ برمی‌گردد که شامل رابطه رگرسیونی خطی ساده بین بارندگی و مقدار تولید بوده است (۱۲). بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌سازی ANPP نشان می‌دهد که مدل‌های برآورد ANPP را می‌توان در پنج گروه شامل مدل های 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 (۳). 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 (۱۷). 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 برمبنای 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.

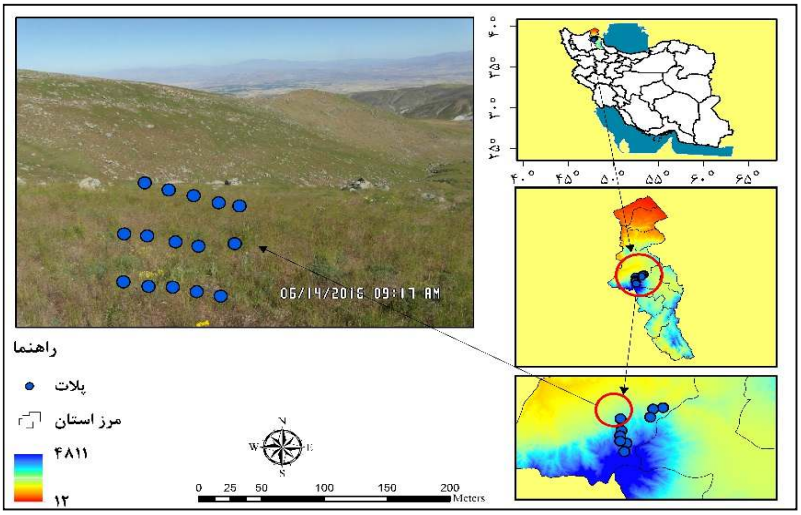
[1]Above ground net primary production

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 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 ۱ 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.

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 "۴۸ '۴۷ °۴۷ تا "۰۵ '۰۱ °۴۸ شمالی و عرض جغرافیایی "۵۳ '۱۷ °۳۸ تا "۱۰ '۲۹ °۳۸ شرقی قرار دارد (جدول۱). این مراتع، به‌طور سنتی و بیش از ظرفیت مرتع توسط دام‌های ایل شاهسون و مردم روستایی (۱۴) 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 مدیترانه‌ای، عناصر پوشش گیاهی این منطقه متعلق به مناطق اروپای-سیبری و ایران-تورانی و از نوع پوشش گیاهی استپی هستند (۲۶).



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

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و اطلاعات پوشش گیاهی مرتع در هر مکان نمونه‌برداری

مکان / خصوصیات	چناق بلاغ	پشته	مس دره‌سی	یورت دیبگلو	لغ	جوچوخوری	شیروان دره‌سی	شیرافکن	شابیل
طول و عرض جغرافیایی	۰۴۷ ۵۶' ۳۰" ۰۳۸ ۲۷' ۱۷"	۰۴۷ ۴۹' ۱۰" ۰۳۸ ۲۶' ۱۵"	۰۴۷ ۵۵' ۵۵" ۰۳۸ ۲۵' ۴۱"	۰۴۷ ۴۹' ۰۹" ۰۳۸ ۲۵' ۰۶"	۰۴۷ ۴۹' ۳۱" ۰۳۸ ۲۲' ۵۲"	۰۴۷ ۴۹' ۳۱" ۰۳۸ ۲۱' ۴۷"	۰۴۷ ۵۰' ۵۱ ۰۳۸ ۲۰' ۲۱"	۰۴۷ ۴۹' ۱۶" ۰۳۸ ۲۰' ۴۳"	۰۴۷ ۵۰' ۲۵" ۰۳۸ ۱۸' ۴۴"
ارتفاع متوسط (m)	۱۷۸۰	۱۷۰۶	۱۹۹۹	۱۹۹۵	۲۳۱۱	۲۵۸۶	۲۶۸۶	۲۷۵۴	۳۱۵۰
جهت غالب	شمال	شمال‌شرق –شمال‌غرب	شمال	شمال‌شرق	شمال غربی	شمال	شمال	شمال‌شرق	شمالی
شیب (٪)	۱۴	۲۰	۳۴	۲۰	۳۷	۳۹	۴۰	۳۳	۱۹
دما (°C)	۹	۹	۸	۸	۷	۶	۵	۵	۴
بارندگی (mm)	۲۷۶	۳۱۵	۳۰۶	۳۲۸	۳۶۱	۳۷۸	۴۱۲	۳۹۴	۴۴۵
لاشبرگ (٪)	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	۶/۲۷	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	*Astragalus microcephalus – Taeniatherum caput medusae*	*Taeniatherum caput medusae – Medicago sativa*	*Astragalus microcephalus-Bromus arvensis-Thymus kotschyanu* ٥	*Bromus tectorum*	*Astragalus aureus-Festuca ovina*	*Festuca ovina – Astragalus aureus*	*Festuca ovina-Trifolium medium*	*Lolium rigidum-Festuca ovina-Trifolium medium*	*Festuca ovina-Alopecurus vaginatus*

اندازه‌گیری میدانی

نمونه‌برداری در خرداد ۱۳۹۵ در زمان حداکثر رشد پوشش گیاهی و در ۹ مکان انجام شد. میانگین بارندگی در این سال براساس ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در منطقه مورد مطالعه ۳۵۸/۹ میلی‌متر است. به‌طور کلی در هر مکان نمونه‌برداری سه ترانسکت ۱۰۰ متری به‌صورت موازی و عمود بر شیب غالب منطقه (تصادفی – سیستماتیک طبقه‌بندی 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 پلات‌ها و ارتفاع آن‌ها با استفاده از GPS ثبت شدند (جدول۲). اندازه و تعداد پلات‌ها (در مجموع ۱۳۵ پلات نمونه‌برداری شد) براساس مطالعات گذشته در محدوده منطقه مورد مطالعه با نوع و الگوی پوشش گیاهی مشابه تعیین شد (۱۴). در هر پلات، تولید خالص اولیه سطح زمین به تفکیک فرم رویشی (بوته‌ها، گندمیان و پهن‌برگان علفی) و به روش قطع و توزین برداشت شد. در مورد گندمیان و پهن‌برگان علفی، گیاه از ۲ سانتی‌متر بالای سطح خاک و بوته‌ها رشد سال جاری قطع شد. نمونه‌های پوشش گیاهی به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس به‌منظور تعیین وزن خشک آن‌ها، توزین شدند (۱۵).

جدول۲- اطلاعات مربوط به طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع (متر) پلات‌های نمونه‌برداری

شیروان دره سی			یورت دی‌بگلو			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' ۶/۴"	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' ۶/۲"	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' ۱۳/۳"	°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' ۵۰/۲"	°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' ۱۰/۲"	°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' ۱۲/۷"	°۳۸ ۲۶' ۱۱/۸"	۱۷۲۲
شیرافکن			لغ			چناق بلاغ		
°۴۷ ۴۹' ۱۶/۸"	°۳۸ ۲۲' ۴۳/۸"	۲۷۷۷	°۴۷ ۴۹' ۳۱/۷"	°۳۸ ۲۲' ۵۲/۶"	۲۲۹۴	°۴۷ ۵۶' ۳۰/۷"	°۳۸ ۲۲' ۱۷/۲"	۱۷۷۹
°۴۷ ۴۹' ۱۷/۴"	°۳۸ ۲۲' ۴۳/۴"	۲۷۷۶	°۴۷ ۴۹' ۳۱"	°۳۸ ۲۲' ۵۲/۲"	۲۲۹۴	°۴۷ ۵۶' ۳۱/۶"	°۳۸ ۲۲' 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 ۲۲' 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 ۲۲' ۱۷/۱"	۱۷۸۰
°۴۷ ۴۹' ۱۹/۲"	°۳۸ ۲۲' ۴۲"	۲۷۷۳	°۴۷ ۴۹' ۲۹/۲"	°۳۸ ۲۲' ۵۰/۹"	۲۲۹۳	°۴۷ ۵۶' ۳۴"	°۳۸ ۲۲' 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 ۲۲' ۱۵/۵"	۱۷۹۰
°۴۷ ۴۹' ۲۰/۲"	°۳۸ ۲۲' ۴۲/۵"	۲۷۶۸	°۴۷ ۴۹' ۳۰/۵"	°۳۸ ۲۲' ۴۹/۸"	۲۳۱۲	°۴۷ ۵۶' ۳۴/۴"	°۳۸ ۲۲' ۱۵/۶"	۱۷۸۹
°۴۷ ۴۹' ۲۰/۳"	°۳۸ ۲۲' ۴۳"	۲۷۷۰	°۴۷ ۴۹' ۳۱"	°۳۸ ۲۲' ۵۰/۳"	۲۳۱۱	°۴۷ ۵۶' ۳۳/۵"	°۳۸ ۲۲' ۱۵/۵"	۱۷۸۹
°۴۷ ۴۹' ۱۹/۸"	°۳۸ ۲۲' ۴۳/۵"	۲۷۷۱	°۴۷ ۴۹' ۳۱/۷"	°۳۸ ۲۲' ۵۰/۷"	۲۳۱۰	°۴۷ ۵۶' ۳۲/۷"	°۳۸ ۲۲' 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 ۲۲' ۱۵/۴"	۱۷۸۷
°۴۷ ۴۹' ۱۸/۹"	°۳۸ ۲۲' ۴۶/۷"	۲۷۱۵	°۴۷ ۴۹' ۳۳/۸"	°۳۸ ۲۲' ۵۰/۲"	۲۳۲۲	°۴۷ ۵۶' ۳۱/۵"	°۳۸ ۲۲' ۱۳/۹"	۱۷۹۳
°۴۷ ۴۹' ۱۹/۴"	°۳۸ ۲۲' ۴۶/۱"	۲۷۱۶	°۴۷ ۴۹' ۳۳"	°۳۸ ۲۲' ۵۰"	۲۳۲۹	°۴۷ ۵۶' ۳۲/۳"	°۳۸ ۲۲' ۱۴"	۱۷۹۳
°۴۷ ۴۹' ۱۹/۲"	°۳۸ ۲۲' ۴۵/۸"	۲۷۱۶	°۴۷ ۴۹' ۳۲/۵"	°۳۸ ۲۲' ۴۹/۴"	۲۳۳۰	°۴۷ ۵۶' ۳۳"	°۳۸ ۲۲' 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 ۲۲' 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 ۲۲' ۱۴/۳"	۱۷۹۵
شابیل			جوی‌چوخوری			مس دره سی		
°۴۷ ۵۰' ۲۵/۶"	°۳۸ ۱۸' ۴۴/۶"	۳۱۲۶	°۴۷ ۴۹' ۱۳/۳"	°۳۸ ۲۱' ۴۷/۲"	۲۵۷۴	°۳۸ ۲۵' ۴۱/۶"	°۴۷ ۵۵' ۵۵/۵"	۱۹۷۹
°۴۷ ۵۰' ۲۵"	°۳۸ ۱۸' ۴۴/۴"	۳۱۳۰	°۴۷ ۴۹' ۱۴"	°۳۸ ۲۱' ۴۵/۴"	۲۵۷۲	°۳۸ ۲۵' ۴۱/۶"	°۴۷ ۵۵' ۵۶/۳"	۱۹۸۰
°۴۷ ۵۰' ۲۴/۱"	°۳۸ ۱۸' ۴۴/۲"	۳۱۳۱	°۴۷ ۴۹' ۱۴/۸"	°۳۸ ۲۱' ۴۷/۷"	۲۵۷۱	°۳۸ ۲۵' ۴۱/۶"	°۴۷ ۵۵' ۵۷/۱"	۱۹۷۹
°۴۷ ۵۰' ۲۳/۲"	°۳۸ ۱۸' ۴۴"	۳۱۳۱	°۴۷ ۴۹' ۱۵/۵"	°۳۸ ۲۱' ۴۷/۹"	۲۵۶۹	°۳۸ ۲۵' ۴۱/۵"	°۴۷ ۵۵' ۵۷/۹"	۱۹۸۲
°۴۷ ۵۰' ۲۲/۷"	°۳۸ ۱۸' ۴۳/۷"	۳۱۳۳	°۴۷ ۴۹' ۱۶/۳"	°۳۸ ۲۱' ۴۸/۲"	۲۵۶۷	°۳۸ ۲۵' ۴۱/۵"	°۴۷ ۵۵' ۵۸/۷"	۱۹۸۲
°۴۷ ۵۰' ۲۱"	°۳۸ ۱۸' ۴۱/۹"	۳۱۴۰	°۴۷ ۴۹' ۱۷/۵"	°۳۸ ۲۱' ۴۶/۹"	۲۵۸۳	°۳۸ ۲۵' ۳۹/۸"	°۴۷ ۵۵' ۵۹/۱"	۲۰۰۰
°۴۷ ۵۰' ۲۱/۷"	°۳۸ ۱۸' ۴۱/۹"	۳۱۴۴	°۴۷ ۴۹' ۱۷/۱"	°۳۸ ۲۱' ۴۶/۸"	۲۵۸۵	°۳۸ ۲۵' ۳۹/۸"	°۴۷ ۵۵' ۵۸/۶"	۱۹۹۸
°۴۷ ۵۰' ۲۲/۵"	°۳۸ ۱۸' ۴۲"	۳۱۴۶	°۴۷ ۴۹' ۱۶/۳"	°۳۸ ۲۱' ۴۶/۵"	۲۵۸۵	°۳۸ ۲۵' ۳۹/۹"	°۴۷ ۵۵' ۵۷/۹"	۱۹۹۷
°۴۷ ۵۰' ۲۳/۴"	°۳۸ ۱۸' ۴۲"	۳۱۴۷	°۴۷ ۴۹' ۱۵/۵"	°۳۸ ۲۱' ۴۶/۲"	۲۵۸۷	°۳۸ ۲۵' ۴۰"	°۴۷ ۵۵' ۵۷/۱"	۱۹۹۶
°۴۷ ۵۰' ۲۴/۲"	°۳۸ ۱۸' ۴۲"	۳۱۴۶	°۴۷ ۴۹' ۱۴/۸"	°۳۸ ۲۱' ۴۶/۱"	۲۵۸۸	°۳۸ ۲۵' ۴۰/۱"	°۴۷ ۵۵' ۵۶/۴"	۱۹۹۶
°۴۷ ۵۰' ۲۵/۱"	°۳۸ ۱۸' ۴۰/۵"	۳۱۷۲	°۴۷ ۴۹' ۱۴/۶"	°۳۸ ۲۱' ۴۴/۴"	۲۶۰۵	°۳۸ ۲۵' ۳۸/۲"	°۴۷ ۵۵' ۵۶/۲"	۲۰۲۰
°۴۷ ۵۰' ۲۴/۲"	°۳۸ ۱۸' ۴۰/۳"	۳۱۷۲	°۴۷ ۴۹' ۱۵/۴"	°۳۸ ۲۱' ۴۴/۷"	۲۶۰۷	°۳۸ ۲۵' ۳۸/۳"	°۴۷ ۵۵' ۵۷/۱"	۲۰۲۲
°۴۷ ۵۰' ۲۳/۳"	°۳۸ ۱۸' ۴۰/۲"	۳۱۷۵	°۴۷ ۴۹' ۱۶/۲"	°۳۸ ۲۱' ۴۵"	۲۶۰۳	°۳۸ ۲۵' ۳۸/۲"	°۴۷ ۵۵' ۵۷/۹"	۲۰۲۰
°۴۷ ۵۰' ۲۲/۷"	°۳۸ ۱۸' ۴۰/۲"	۳۱۷۵	°۴۷ ۴۹' ۱۶/۸"	°۳۸ ۲۱' ۴۵/۳"	۲۶۰۰	°۳۸ ۲۵' ۳۸/۳"	°۴۷ ۵۵' ۵۸/۷"	۲۰۱۹
°۴۷ ۵۰' ۲۱/۸"	°۳۸ ۱۸' ۳۹/۹"	۳۱۷۷	°۴۷ ۴۹' ۱۷/۶"	°۳۸ ۲۱' ۴۵/۶"	۲۵۹۹	°۳۸ ۲۵' ۳۸/۲"	°۴۷ ۵۵' ۵۹/۵"	۲۰۱۸

پیش پردازش تصاویر

سنجنده OLI لندست ۸ با طول موج طیفی باریک باعث بهبود ویژگی‌های کالیبراسیون، 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 ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در منطقه مورد مطالعه ۳۴۷/۳ میلی‌متر است. تولید خالص اولیه در طی برداشت میدانی در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ۱۶ نقطه کنترل زمینی (GPS) و UTM و WGS 84 زمین مرجع شد. با توجه به اینکه تصاویر لندست به‌صورت رادیومتریک نرمال شده‌اند، تصحیحات توپوگرافیک و اتمسفری با استفاده از بسط ATCOR در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2015 انجام شد.

شاخص‌های گیاهی

هدف از ایجاد شاخص‌های پوشش گیاهی آن است که برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، بیومس، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی پیش‌بینی و ارزیابی شود. به‌طور کلی شاخص‌های پوشش گیاهی به دو دسته شاخص‌های نسبتی مانند RVI، NDVI، TVI و شاخص‌های فاصله‌ای مانند PVI، SAVI، MSAVI، TSAVI، WDVI تقسیم می‌شود (۲۹). پیکسل‌ها با مقادیر مختلف پوشش گیاهی، خطوط با شیب‌های مختلف را می‌سازند. در یک شاخص نسبی، با افزایش مقدار پوشش گیاهی خطوط به باند مادون قرمز نزدیک، تمایل پیدا می‌کنند. در حالی که در شاخص‌های فاصله‌ای پیکسل‌ها با پوشش گیاهی بیش‌تر از خط خاک فاصله می‌گیرند. در تحقیق حاضر دو شاخص NDVI[1] و RVI[2] از شاخص‌های نسبتی و SAVI[3] و PVI3[4] از شاخص‌های فاصله‌ای 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 به‌عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی می‌تواند مناطقی را که دارای پوشش انبوه‌تری هستند، بهتر تفکیک کند .شاخص SAVI اثرهای خاک زمینه و رطوبت خاک موجود در شاخص NDVI را کاهش می‌دهد و مناسب مناطقی است که پوشش تنک و کم است. در شاخص PVI ضرایب خط خاک به‌کار رفته شده اثرات منفی خاک زمینه را به خوبی حذف کرده، در آن تفکیک پوشش گیاهی با صحت بالایی صورت می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته وجود رابطه غیرخطی بین ANPP و برخی شاخص‌های گیاهی بررسی و سپس از توابع غیرخطی موجود به‌منظور مدل‌سازی تولید خالص اولیه استفاده شد.

مدل جمعی تعمیم‌یافته

مدل جمعی تعمیم‌یافته یک مدل ناپارامتری بوده و بسط مدل‌های خطی تعمیم‌یافته می‌باشد، اما برخلاف مدل خطی تعمیم‌یافته که در آن رابطه بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به‌وسیله رابطه ارائه می‌شود، داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین می‌کنند، ازاین‌رو این مدل‌ها به جای مدل محوری، داده محورند. یعنی نتایج پارامترهای به دست آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود. در مدل جمعی تعمیم‌یافته فرض بر این است که متغیر پاسخ Y دارای توزیعی از خانواده نمایی می‌باشد که از طریق تابع پیوند (g) به متغیرهای پیشگو (X_j) متصل می‌شود. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته به‌صورت زیر بیان می‌شود:

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

که در آن f_jها توابعی نامعلوم و هموار و x_j متغیرهای پیش‌بینی کننده هستند. به‌طور خاص f_j از روی داده‌ها و با استفاده از روش‌های بهبود برازش و هموارسازی، نمودار پراکنش برآورد می‌شود. وجود هموارسازها در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته سبب توانایی این مدل در تجزیه و تحلیل داده‌های اکولوژیکی و مشخص کردن رابطه غیرخطی بین

[1] Normalized difference vegetation index
[2] Ratio vegetation index
[3] soil-additive vegetation index
[4] Perpendicular vegetation index

متغیرهای مختلف دارند (۱). محاسبات مربوط به این بخش با استفاده از نرم‌افزار آماری R3.5.1 و الحاقیه mgcv انجام شد.

رگرسیون غیرخطی

مدل‌های رگرسیونی، یک رابطه خطی یا غیرخطی از یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل ایجاد می‌کنند. به‌وسیله یک رابطه رگرسیونی می‌توان با معلوم بودن مقادیر متغیرهای مستقل، مقدار متغیر وابسته را تخمین زد. در این تحقیق از توابع آستانه[1]، گویا[2]، چندگانه[3]، موجی شکل[4]، سیگموئیدی و لگاریتمی که خود شامل چندین تابع یک و چند پارامتری می‌شوند استفاده شد. معادلات مربوط به این توابع در جدول۳ ارائه شده است. محاسبات مربوط به این بخش در نرم افزار SigmaPlot12 انجام شد.

ارزیابی مدل

صحت پیش‌بینی مدل‌ها 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 (۱۰).

جدول۳- توابع غیرخطی مورد استفاده به‌منظور بررسی رابطه تولید خالص اولیه و شاخص‌های گیاهی

نوع تابع	معادله تابع
آستانه گوسی چهار پارامتری	$y = y_o + a\exp(-0.5(\frac{x-x_o}{b})^2)$
گویا سه پارامتری نوع دو	$y = (a+bx)/(1+cx)$
موجی شکل چهار پارامتری	$y = y_o + a\sin(\frac{2\pi x}{b}+c)$
چندگانه درجه سوم	$y = y_o + ax + bx^2 + cx^3$
سیگموئیدی سه پارامتری	$y = a/(1+\exp(-\frac{x-x_o}{b}))$
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 جدول۴ ارائه شده است. به‌کارگیری مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته برای هر یک از شاخص‌های گیاهی و تولید خالص اولیه کل و فرم رویشی به‌صورت انفرادی نشان می‌دهد که شاخص‌های گیاهی NDVI، PVI3 و RVI دارای رابطه غیرخطی با تولید کل و فرم‌های رویشی هستند. اما شاخص SAVI با تولید خالص اولیه کل و گندمیان دارای رابطه خطی است (شکل‌های۲ و ۳). هم‌چنین همه شاخص‌های گیاهی دارای رابطه معنی‌دار با تولید خالص اولیه هستند (جدول ۵). رتبه‌بندی شاخص‌های گیاهی اثرگذار بر تولید خالص اولیه براساس ضریب تبیین نشان می‌دهد که با اهمیت‌ترین و کم اهمیت‌ترین شاخص گیاهی به‌ترتیب برای بوته SAVI و PVI3، گندمیان، پهن‌برگان علفی و کل PVI3 و SAVI هستند.

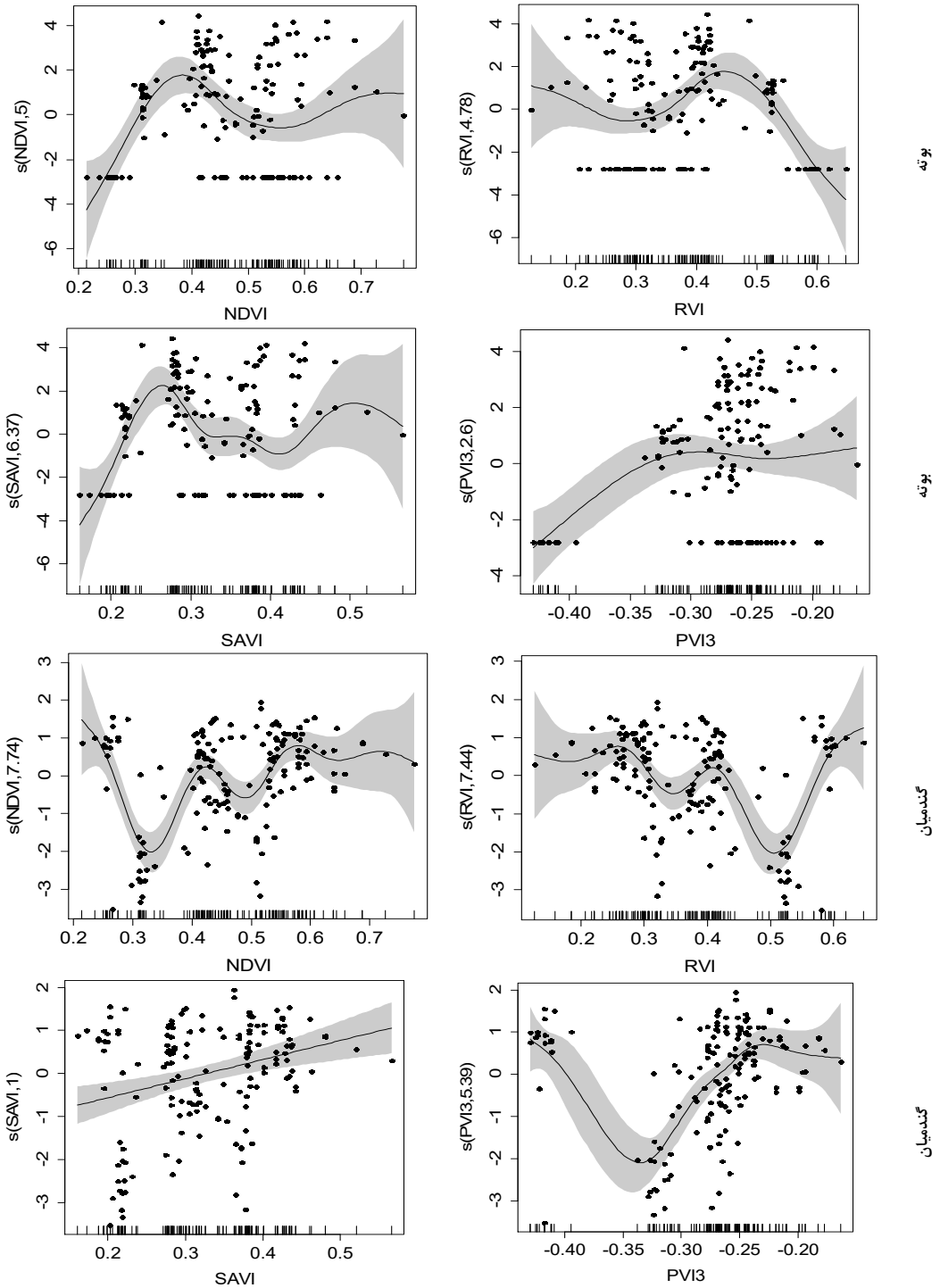
[1] Peak
[2] Rationa
[3] polynomial
[4] Waveform

جدول۴- مقدار تولید فرم‌های رویشی در محل‌های نمونه‌برداری

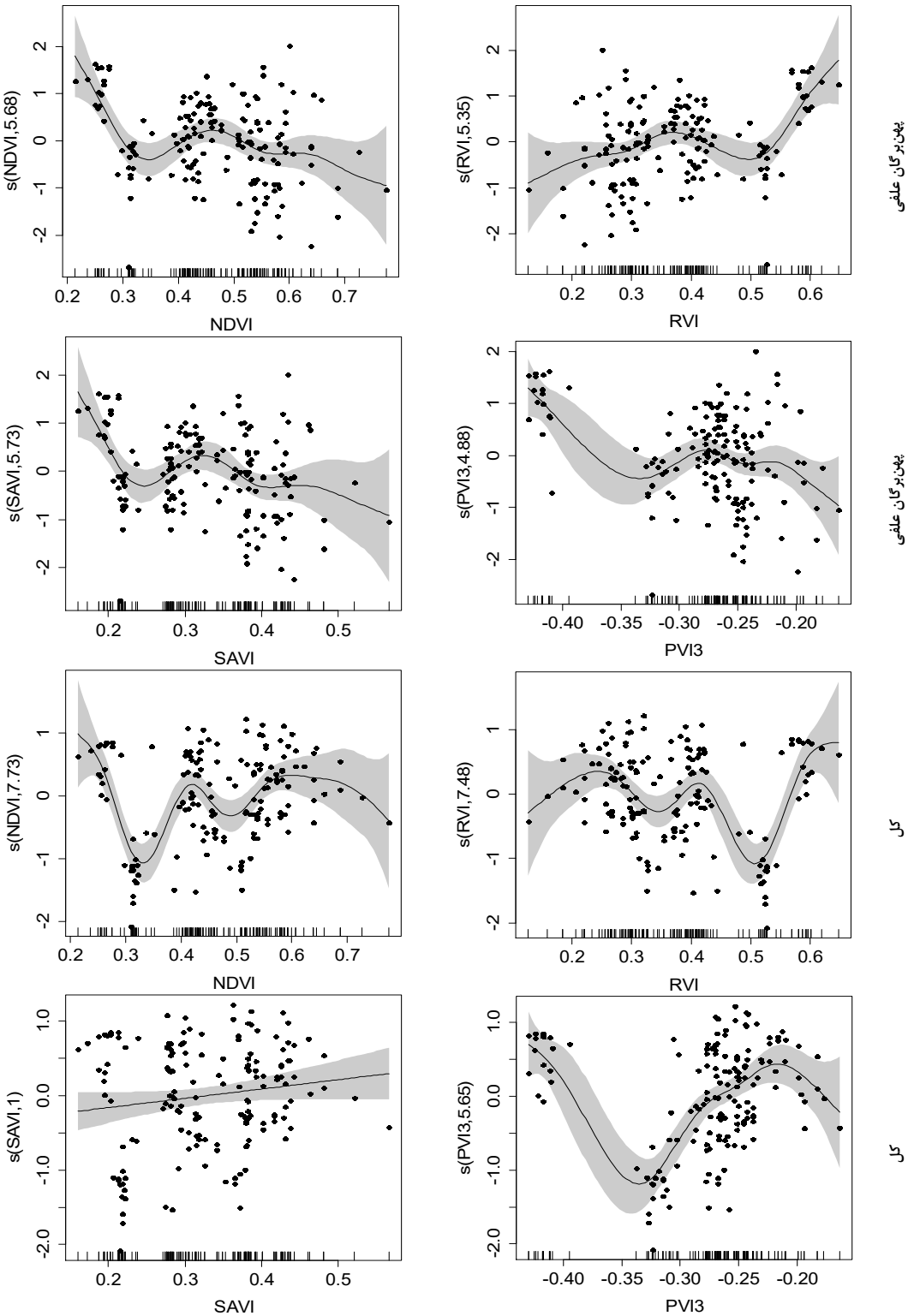
مکان نمونه‌برداری	پهن‌برگ علفی	گندمیان	بوته‌ها
چناق‌بلاغ	۵۹۹	۵۹۱	۷۷۱
پشته	۴۳۴	۱۲۸۳	۰
مس دره‌سی	۴۸۶	۴۲۸	۴۸۳
یورت دیبگلو	۳۹۸	۸۲۷	۶۴۴
لغ	۳۵۵	۸۱۶	۸۳۵
جوی‌چوخوری	۴۴۴	۱۴۵۵	۴۳۶
شیروان دره‌سی	۴۰۸	۱۰۱۱	۵۳۸
شیرافکن	۶۱۱	۱۹۰۱	۴۱۸
شابیل	۲۳۸	۱۰۲۹	۵۶

جدول ۵: نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به هر یک از شاخص‌های گیاهی به‌صورت 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
پهن‌برگان 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

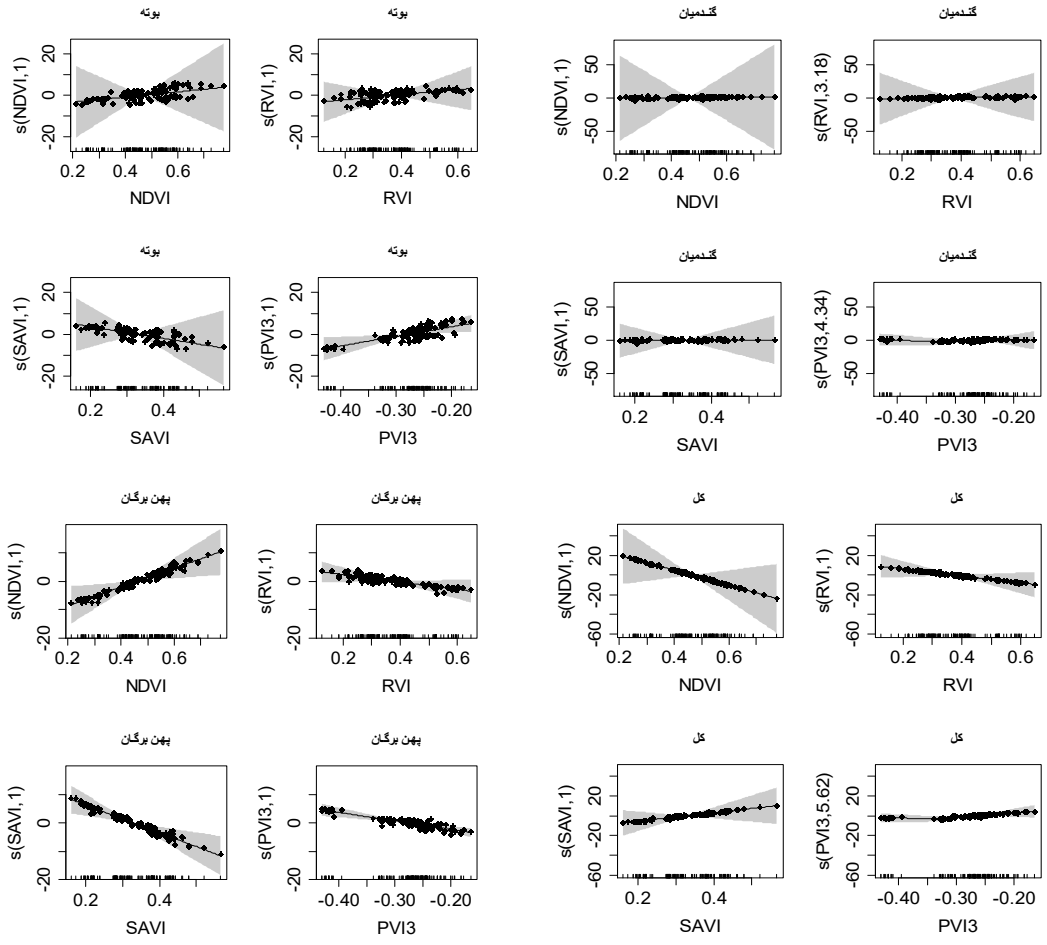


شکل ۲: رابطه تولید خالص اولیه بوته‌ها و گندمیان با شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به‌صورت انفرادی. محور افقی مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی و محور عمودی تاثیر تابع هموارساز بر روی مقادیر میانگین متغیر پاسخ (تولید خالص اولیه سطح زمین) را نشان می‌دهد. نقاط و خط سیاه رنگ به‌ترتیب نشان دهنده پلات‌های نمونه‌برداری 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.



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

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 به صورت انفرادی رابطه معنی‌داری با تولید خالص اولیه دارند در حالی که به‌صورت توامان با سایر شاخص‌های گیاهی تاثیر 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.



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 به‌ترتیب 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.

جدول۶: نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته با شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به صورت توامان

فرم رویشی		NDVI	RVI	SAVI	PVI3
بوته	درجه آزادی مدل	۱	۱	۵/۹۴	۱
	p-value	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۰۵	۰/۷۱
گندمیان	درجه آزادی مدل	۴/۸۴	۱	۱	۴/۰۵
	p-value	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۰۰
پهن‌برگان علفی	درجه آزادی مدل	۱	۱	۴/۱۴	۵/۹۰
	p-value	۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۲۱	۰/۰۳
تولید کل	درجه آزادی مدل	۱	۳/۶۳	۱	۴/۹۳
	p-value	۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۰۰

در این تحقیق برای نرمال کردن داده‌های تولید از لگاریتم استفاده شد و رابطه رگرسیونی بین لگاریتم ANPP و شاخص گیاهی برقرار شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که رگرسیون غیرخطی به‌طور قابل توجهی باعث افزایش صحت برآورد ANPP با استفاده از شاخص‌های گیاهی شده است (جدول ۷). برای مثال مقدار R^2 برای بوته‌ها از ۰/۲۴ به ۰/۷۴ افزایش یافته است. میزان ضریب تبیین برای تولید کل بیش‌تر از فرم‌های رویشی است و از میان فرم‌های رویشی پهن‌برگان علفی کم‌ترین مقدار ضریب تبیین را دارند.

جدول ۷: مدل‌های برآورد تولید خالص اولیه کل و فرم‌های رویشی با استفاده از شاخص‌های گیاهی معنی‌دار در آزمون مدل جمعی تعمیم‌یافته

مدل	نوع رابطه	ضریب تبیین	p-value	RMSE	MBE	MARE
$Y_{shrubs} = -15.2470 + 528.1210*SAVI - 1693.6917*SAVI^2 + 1763.9068*SAVI^3$	غیر خطی	۰/۷۴	۰/۰۵	۲۹۷/۹۷	۲۲/۶۱	۱/۱۰
$Y_{shrubs} = 0.381 + 5.042SAVI$	خطی	۰/۲۴	۰/۱۷	۳۱۴/۷۵	۱۳۶/۸۹	۱/۵۳
$Y_{grasses} = 2.5328 + 0.6749*\sin(\frac{6.238*PVI3}{0.1975} + 2.6326)$	غیر خطی	۰/۷۵	۰/۰۵	۳۷۴/۲۸	۷۹/۴۰	۰/۳۹
$Y_{grasses} = 3.030 + 0.908PVI3$	خطی	۰/۰۱	۰/۷۶	۶۴۲/۱۶	۲۶۹/۴۳	۱/۳۰
$Y_{forbs} = \frac{2.7298 + (7.6448*PVI3)}{1 + (2.7603*PVI3)}$	غیر خطی	۰/۵۶	۰/۰۵	۱۳۱/۶۲	۱۹/۴۹	۰/۲۴
$Y_{forbs} = 2.166 - 1.738PVI3$	خطی	۰/۲۵	۰/۱۶	۱۸۹/۲۷	۳۹/۷۱	۰/۳۵
$Y_{total} = 3.3159 - 2.2856*\exp(-5*(\frac{PVI3 + .3005}{0.0116})^2)$	غیر خطی	۰/۸۰	۰/۰۳	۵۰۴/۳۸	۷۰/۴۰	۰/۲۲
$Y_{total} = 3.273 + 0.452PVI3$	خطی	۰/۰۰	۰/۸۰	۸۵۰/۹۸	۲۴۹/۸۱	۰/۶۵

Y: متغیر پاسخ یا همان مقدار تولید خالص اولیه سطح زمین برای فرم‌های رویشی بوته (shrubs)، گندیمان (grassses)، پهن‌برگان علفی (forbs) و کل (total). SAVI و PVI3: شاخص‌های گیاهی سنجش از دوری.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه دسترسی به اکثر مناطق کوهستانی مانند سبلان به‌دلایل فیزیکی و امنیتی دشوار است، سنجش از راه دور اغلب تنها راه تحقیق بخش‌های بزرگی از سطح زمین است. در روش‌های سنجش از دور مدل‌هایی که برای تخمین میزان بیومس ارائه شده‌اند عموما بر محاسبه شاخص‌های گیاهی استوارند که با استفاده از این شاخص‌ها و با فرض یک نوع تابع خطی، لگاریتمی یا نمایی پارامترهای تابع محاسبه و میزان بیومس تخمین زده می‌شود. 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 (۲۱)، در مدل جمعی تعمیم‌یافته و بررسی توامان رابطه شاخص‌های گیاهی و ANPP رابطه معنی‌داری را نشان نداد. این مسئله می‌تواند به‌دلیل پوشش گیاهی

متوسط منطقه باشد. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که این شاخص به‌عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی در مناطقی که دارای پوشش انبوه‌تری (مناطقی که پوشش گیاهی بیش از ۶۰ درصد باشد و تشخیص طیف‌های خاک امکان پذیر نخواهد بود) هستند، پاسخ بهتری ارائه می‌کند (۱۳). بورک و لبلنک (۲۰۰۱) در بررسی رابطه شاخص سطح برگ و شاخص‌های گیاهی و پردل و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی فیتومس گیاهی و شاخص‌های گیاهی نتایجی مشابه با این تحقیق را بدست آورده و دریافتند که توانایی پیش‌بینی سایر شاخص‌های گیاهی بیش‌تر از NDVI در برآورد ویژگی‌های پوشش گیاهی است.

شاخص‌های خط خاک استفاده شده در این تحقیق (SAVI و PVI3) در مقایسه با شاخص‌های RVI و NDVI همبستگی بیش‌تری در زمینه تولید خالص اولیه از خود نشان دادند. زیرا شاخص‌های که بر مبنای شیب هستند به‌شدت تحت تاثیر متغیرهای روشنایی در زمینه تاج پوشش گیاهی قرار دارند و شناسایی میان پوشش گیاهی و تغییراتی که به‌سبب خاک بر روی آن‌ها اعمال می‌گردد، توسط این شاخص‌ها مشکل است. از این رو در منطقه مورد مطالعه که همراه با برون زدگی سنگی زیاد است، به‌دلیل 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 (۲۵). 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 ازجهت 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 (۱۶). 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 3 و 4 در این شاخص حضور دارد، بنابراین هریک از این باندها (به‌دلیل 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 به‌طور 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 (۲۷). 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 به‌طور 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، به‌همین 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 با 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 به‌علت 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. براساس نظر آن‌ها زمانی که تیپ‌های گیاهی مختلف به صورت یکجا بررسی می‌شوند به دلیل تنوع فرم رویشی و نوع گونه‌های گیاهی که باعث اختلاف طیفی می‌گردد، همبستگی شاخص‌ها و درصد پوشش کل کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر شاخص مناسب برآورد تولید خالص اولیه پهن‌برگان علفی و گندمیان مشابه کل بوده است و در کار قربانی و همکاران (۲۰۱۷) نیز شاخص‌های مناسب برآورد کل مشابه پهن‌برگان علفی بوده است. علت این امر می‌تواند پوشش مراتع منطقه مورد مطالعه باشد که عمدتاً پوشیده از گونه‌های گندمیان و پهن‌برگان علفی است به گونه‌ای که گندمیان، پهن‌برگان علفی و بوته‌ها به ترتیب ۴۴/۵۰، ۳۸/۳۹ و ۱۷/۰۹ درصد از پوشش گیاهی را شامل می‌شوند.

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 می‌دهد که رگرسیون غیرخطی به افزایش صحت برآوردها در منطقه مورد مطالعه کمک کرده است. ضریب تبیین بین تولید خالص اولیه بوته‌ها، گندمیان، پهن‌برگان 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) به‌منظور برآورد بیومس گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی RVI، MSAVI ، DVI و NDVI از مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که به‌طور کلی، مدل‌های غیرخطی بهتر از مدل‌های خطی عمل می‌کنند، اگر چه همه‌ی آن‌ها می‌توانند مقدار بیوماس را با استفاده از شاخص‌های گیاهی با صحت قابل قبولی پیش‌بینی کنند. هم‌چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود در نظر گرفتن توأمان متغیرهای تبیینی که در این مطالعه شاخص‌های گیاهی هستند، توصیف صحیح‌تری از ارتباط شاخص‌ها و ANPP ارائه می‌دهد. به‌طوری که در مدل تعمیم‌یافته تجمعی به‌صورت انفرادی، همه شاخص‌های گیاهی مورد بررسی دارای رابطه معنی‌داری با ANPP بودند در حالی که در حالت توامان برخی شاخص‌ها رابطه معنی‌داری را نشان ندادند.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر، قابلیت تصویر سنجند OLI به‌منظور برآورد تولید خالص اولیه را تایید می‌کند. 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 هزینهٔ کم‌تر فراهم خواهد شد. هم‌چنین از این ابزار می‌توان 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. بدین‌نوسیله نویسندگان از حمایت این معاونت سپاسگزاری می‌کنند.

References

1. 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)
2. 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)
3. 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.
4. Arzani, H. & M. Abedi., 2015. Rangeland evaluation: Vegetation Measurement, Tehran University Press, 305 p. (In Persian)
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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)
14. Ghorbani, A., A. Pournemati & 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)
15. Ghorbani, A., F. Dadjoo, 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. Iranian Journal of Rangeland, 12(1): 73-88. (In Persian)
16. Hadian, F., R. Jaffari, H. Bashari & S. Soltani, 2012. Evaluation of diferent groups of vegetation idices in the study of rangelands aggregation. Iranian Journal of Rangeland, 5: 420-425. (In Persian)
17. 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.
18. 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.
19. Ma, W.H., J.Y. Fang, Y.H. Yang & A. Mohammat, 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.
20. 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.
21. 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)

22. Pordel, F., A. Ebrahimi & Z. Azizi, 2017. Evaluating spatio-temporal phytomass changes using vegetation index derived from Landsat 8 (Case study: Mrajan rangeland, Boroujen). Iranian Journal of Rangeland, 11(2), 166-178.
23. 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. Iranian Journal of Range and Watershed Management, 68(1): 109-129. (In Persian)
24. 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). Iranian Journal of Rangeland, 12(2): 169-179. (In Persian)
25. 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)
26. 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)
27. Solaimani, K., F. Shokrian, R, Tamartash & M. Banihashemi, 2015. Determination of vegetative forms using LISSIII data in Nojmeh rangeland. Iranian Journal of Range and Desert Research, 22(3): 455-465. (In Persian)
28. 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 Senseing, 29(17): 5313−5327.
29. Xue, J. & B. Su., 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. Sensors, 10: 1-17.
30. 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)