

بررسی امکان برآورد بیوماس مراتع با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره‌ای لندست ۸

مسعود عشقی‌زاده^۱ و یاسر اسماعیلیان^{۲*}

۱- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، ایران، بست الکترونیک:

y.esmaeilian@gonabad.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۱

چکیده

با توجه به محدودیت‌هایی که در اندازه‌گیری میدانی پوشش گیاهی وجود دارد، کاربرد شاخص‌های گیاهی برای برآورد بیوماس عرصه‌های مرتعی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات مرتع می‌تواند بسیار کاربردی باشد. در این راستا، لازم است شاخص‌های گیاهی مناسب شناسایی شوند. هدف از این پژوهش بررسی امکان برآورد بیوماس مراتع با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از اطلاعات رقومی ماهواره لندست ۸ و تعیین مناسب‌ترین آنها در مناطق نیمه‌خشک شمال‌شرق کشور می‌باشد. برای این منظور مقادیر متوسط شاخص‌های گیاهی NDVI، TDVI، SAVI، ARVI، EVI، OSAVI، IPVI، GRVI و GNDVI درون هر واحد یک هکتاری از شبکه حوضه مورد مطالعه محاسبه گردید. سپس همبستگی این مقادیر با متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی این واحدها از طریق رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت و مدل رگرسیونی هر شاخص برای برآورد بیوماس مشخص شد. در نهایت، نتایج حاصل مورد اعتبارسنجی قرار گرفت و نقشه بیوماس عرصه برای هر شاخص تهیه شد. نتایج نشان داد تمامی شاخص‌ها از همبستگی بالا و قابل قبولی با داده‌های واقعی بیوماس برخوردار بودند. بر اساس نتایج اعتبارسنجی، شاخص گیاهی SAVI با ضریب تبیین ۰/۷۹ و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای ۱۴/۷۳ درصد مناسب‌ترین شاخص گیاهی برای برآورد بیوماس در منطقه بود. این شاخص‌ها با بکارگیری طول موج‌های قرار گرفته در محدوده باند آبی، اثر ریزگردها را در محاسبات اصلاح نموده که باعث کاهش اثر اتمسفری شده و بهبود نتایج محاسبه شاخص NDVI را در پی داشت و می‌توان آن را شاخص NDVI اصلاح شده نیز نامید. بر اساس نتایج بدست‌آمده، شاخص‌های گیاهی که از نسبت‌گیری باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز مرئی حاصل می‌شوند، همبستگی بالایی با بیوماس دارند. به‌طور کلی هرچه شاخص‌های گیاهی از باندهای با طول موج کوتاه‌تر استفاده کنند، در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بیشتر تحت تأثیر ریزگردها می‌باشند، دقت برآوردها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، سنجش از دور، شاخص گیاهی، ماهواره لندست، همبستگی.

مقدمه

ویژگی‌های مهم اکوسیستم‌ها بشمار می‌رود. علاوه بر این، بیوماس به‌عنوان یک شاخص، نشان‌دهنده چرخه مواد در اکوسیستم و وضعیت هرم انرژی، تعداد و بیوماس کل اکوسیستم است. بنابراین یکی از مهمترین اطلاعات در

بیوماس گیاهی، تولید ماده خشک بالای سطح خاک پوشش گیاهی در طول یک فصل رویشی می‌باشد (Ghorbani et al., 2017). بیوماس جوامع گیاهی یکی از

تجربی بین پارامترهای مورد نظر با شاخص‌های گیاهی است که از طریق ترکیب باندهای مختلف سنجنده‌های ماهواره‌ای محاسبه می‌شوند (Olexa & Lawrence, 2014). این شاخص‌ها نسبت‌های رادیومتریکی بین باندهای مختلف می‌باشند که تحت تأثیر الگوهای زمانی و مکانی فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان بوده و تابع متغیرهای بیوفیزیکی از قبیل شاخص سطح برگ، درصد پوشش گیاهی و بیوماس هستند (Amiri et al., 2010). در مطالعات پوشش گیاهی، شاخص گیاهی باید در نظر گرفته شود که به پوشش گیاهی حساس بوده و نسبت به خاک لخت غیرحساس باشد و کمترین تأثیر را از عوامل جوی داشته باشد (Jackson et al., 1983). مطالعات مختلف نشان‌دهنده وجود رابطه معنی‌دار بین بیوماس مراتع و شاخص‌های گیاهیست (Arzani et al., 2014).

از مهمترین مطالعات دهه اخیر در مورد برآورد بیوماس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنسجش از دور می‌توان به مطالعات Imani و همکاران (۲۰۱۸)، Ghorbani و همکاران (۲۰۱۷)، Arzani و همکاران (۲۰۱۴)، Wagel و همکاران (۲۰۱۲)، Zarineh و همکاران (۲۰۱۱)، Xiaoping و همکاران (۲۰۱۰)، Long و همکاران (۲۰۱۰)، Yeganeh و همکاران (۲۰۰۸) و Soleymani و همکاران (۲۰۰۷) اشاره نمود. در این مطالعات، اطلاعات برداشت شده نقطه‌ای بیوماس به کل یک سطح تعمیم داده شده است. بنابراین یکی از مهمترین مسائل در کاربرد این شاخص‌ها ضرورت واسنجی روابط تجربی بدست‌آمده برای کاربرد در سایر مناطق است. از این رو ضرورت یک روش مشخص که امکان کاربرد و تعمیم مقادیر نقطه‌ای بیوماس مراتع با اشکوب‌ها و تیپ‌های گیاهی مختلف را به‌ویژه در مراتع خشک و نیمه‌خشک داشته باشد وجود دارد. در همه این مطالعات رابطه معنی‌دار بین شاخص‌های گیاهی و مقادیر بیوماس مورد بررسی قرار گرفته و به امکان برآورد آن با استفاده از این شاخص‌ها اشاره شده است. برای این منظور مقدار بیوماس کل و یا بیوماس یک نوع ترکیب گیاهی به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. Imani و

مطالعات مرتع، آگاهی از مقدار بیوماس عرصه مورد مطالعه می‌باشد. بیوماس معمولاً از طریق اندازه‌گیری مستقیم در مطالعات پوشش گیاهی و طرح‌های ارزیابی و اندازه‌گیری مرتع بدست می‌آید. اندازه‌گیری مستقیم بیوماس با محدودیت‌هایی از قبیل سطح وسیع، زمان برداشت، دسترسی میدانی، مشکلات جمع‌آوری، خشک کردن نمونه‌ها و محدودیت‌های کارشناسی روبروست (Xie et al., 2009).

روش‌های میدانی رایج برای ارزیابی پوشش گیاهی مراتع، به‌ویژه محاسبه بیوماس مراتع، نیازمند برداشت نمونه‌های میدانی فراوانی از جوامع گیاهی موجود می‌باشد. همچنین، به دلیل وسعت زیاد این اراضی معمولاً تعمیم این نقاط به کل عرصه باعث افزایش خطا در برآوردها می‌گردد (Imani et al., 2018). علاوه بر این، با توجه به نقش زمان در مدیریت مراتع و حساسیت بالای آن برای اعمال مدیریت‌های لازم به‌ویژه تاریخ ورود دام به عرصه و شروع چرا، شدت، میزان چرا و تاریخ خروج دام از عرصه، لزوم دسترسی به داده‌های به‌روز از مراتع ضروری به‌نظر می‌رسد. این امر نیازمند توسعه یک روش سریع، اقتصادی و در دسترس برای برآورد بیوماس عرصه‌های مرتعی است (Hangs et al., 2011). استفاده از اطلاعات و تصاویر حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای یکی از روش‌های ممکن و در دسترس برای پایش، جمع‌آوری اطلاعات، ارزیابی و تجزیه و تحلیل مراتع است. اطلاعات ماهواره‌ای به علت پوشش وسیع و تکرار زمانی مشخص، قابلیت به‌روزرسانی و دسترسی ساده و ارزان می‌توانند کاربردهای وسیعی در مطالعات پوشش گیاهی و مراتع داشته باشند. تجزیه و تحلیل اطلاعات بازتاب طیفی گیاهان که توسط ماهواره‌ها ثبت می‌شوند و پایش تغییرات بوجود آمده در منحنی بازتاب طیفی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف می‌توانند بصورت مدل‌های تجربی و ریاضی نمایش داده شده و امکان به‌روزرسانی و دسترسی به اطلاعاتی از قبیل بیوماس و ظرفیت چرای را بر اساس پژوهش‌های بعدی و افزایش دقت رادیومتریک سنجنده‌های ماهواره‌ای در آینده امکان‌پذیر سازد. اساس کار این مطالعات، برقراری یک رابطه

(۲۰۱۰)، شاخص NDVI دارای همبستگی خوبی با بیوماس مراتع مورد مطالعه بوده و می‌تواند برای برآورد بیوماس گونه‌های گندمیان مناطقی از چین به‌کار برده شود. Yeganeh و همکاران (۲۰۰۸)، از تصاویر سنجنده مودیس برای برآورد تولید مراتع منطقه سمیرم استفاده نمودند. نتایج آنان نشان داد شاخص‌های گیاهی NDVI، SAVI و RVI دارای همبستگی متوسطی با بیوماس می‌باشند. بر اساس مطالعات Soleymani و همکاران (۲۰۰۷)، بیشترین صحت و انطباق داده‌های برآوردی بیوماس با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی مربوط به شاخص‌های گیاهی NDVI، TVI و NIR است. بررسی مطالعات انجام شده نشان داد انتخاب محدوده مورد بررسی (انتخاب یک سامان یا چندین سامان عرفی و یا سطوح با وسعت بسیار زیاد) بیشتر تحت تأثیر اندازه پیکسل سائز تصاویر ماهواره‌ای در دسترس بوده است.

با توجه به محدودیت‌هایی که در اندازه‌گیری میدانی پوشش گیاهی وجود دارد، کاربرد شاخص‌های گیاهی برای برآورد بیوماس عرصه‌های مرتعی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند در مطالعات مرتع بسیار کاربردی باشد. برای این منظور لازم است شاخص‌های گیاهی مناسب جوامع گیاهی شناسایی گردد. بنابراین، این مطالعه با اهداف زیر انجام شده است.

- ارائه یک الگوی جدید و کارا برای بکارگیری شاخص‌های گیاهی سنجنش از دوری در برآورد بیوماس مراتع از طریق شبکه‌بندی سطح مرتع و تمرکز و تلفیق مطالعات سنجنش از دوری و میدانی برای ارائه مدل تجربی مناسب برآورد بیوماس در مناطق نیمه‌خشک شمال‌شرق ایران؛

- بررسی امکان برآورد بیوماس با استفاده از شاخص‌های گیاهی مناسب پیشنهاد شده در مطالعات گذشته و تعیین مناسب‌ترین آنها برای مناطق نیمه‌خشک شمال‌شرق کشور؛

- ارائه روابط تجربی مناسب برای برآورد بیوماس در مناطق مشابه.

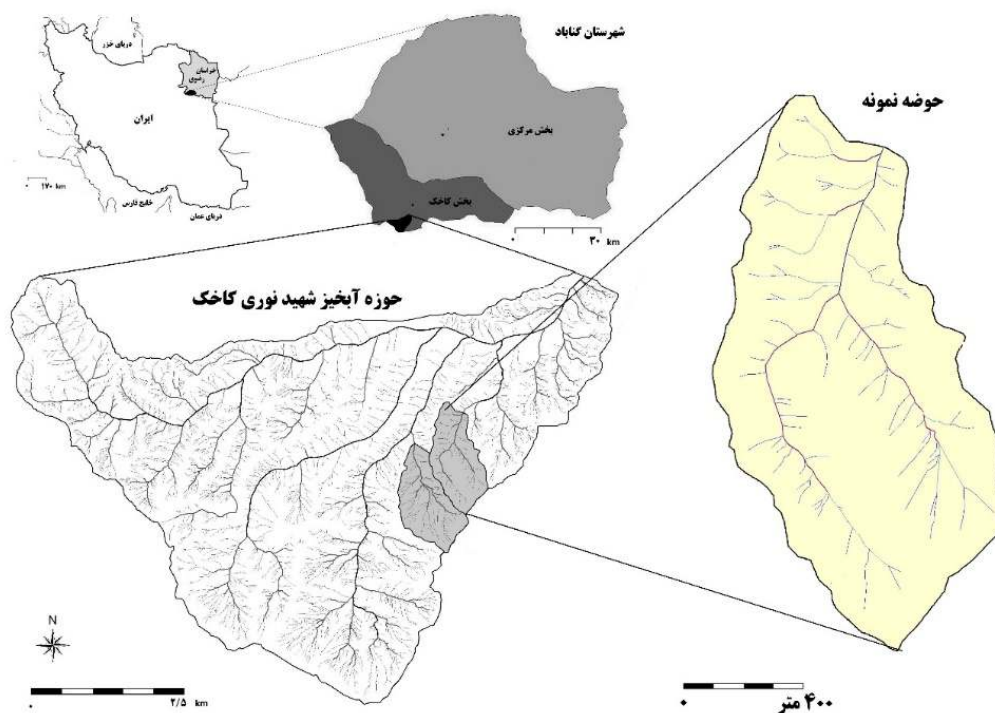
همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعه خود دو شاخص NDVI و SAVI را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج آنان نشان داد شاخص SAVI در مناطقی که از درصد پوشش گیاهی کمتری برخوردار است، نسبت به شاخص NDVI برآورد دقیق‌تری نشان می‌دهد. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۷)، در تخمین و پهنه‌بندی بیوماس با استفاده از تصاویر لندست ۸ در مراتع سبلان، ۲۴ شاخص گیاهی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد شاخص‌های RVI، TNDVI و GNDVI بیشترین همبستگی را با بیوماس گونه‌های گندمیان و شاخص‌های RDVI، DVI و RVI با گونه‌های بوته‌ای منطقه داشته‌اند. Arzani و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعات خود از شاخص‌های گیاهی استفاده نمودند که بیشتر از ترکیب باندهای ۵ و ۷ ماهواره لندست ۷ محاسبه می‌شدند. نتایج آنان نشان داد، با توجه به همبستگی بیوماس با شاخص‌های گیاهی IR1، MTRV2 و VNIR2، می‌توان برای برآورد بیوماس عرصه‌های مرتعی از مدل‌های رگرسیونی استفاده نمود. Wagel و همکاران (۲۰۱۴)، برای بررسی تغییرات سالانه چمن‌زارهای مناطق اوکلاهاما و ایلینویز، سه شاخص EVI، NDVI و LSWI را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد شاخص EVI توانایی بهتری در نشان دادن تغییرات فصلی و سالانه پوشش گیاهی داشته است. Zarineh و همکاران (۲۰۱۲)، از تصاویر ماهواره‌ای IRS برای برآورد بیوماس مراتع منطقه تنگ صیاد چهارمحال و بختیاری استفاده نمودند. مطالعات آنان نشان داد شاخص DVI دارای بیشترین ضریب همبستگی با داده‌های میدانی گونه‌های گندمیان و پهن‌برگان می‌باشد و شاخص NDVI بیشترین همبستگی را با مقدار بیوماس کل عرصه داشته است. همچنین شاخص GNDVI بیشتر مناسب برآورد بیوماس گونه‌های پهن‌برگان علفی است. مطالعات Xiaoping و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد، هر سه شاخص RVI، NDVI و SAVI قابلیت برآورد بیوماس مراتع را داشته و از بین این شاخص‌ها، RVI دارای خطای کمتری است. بر اساس مطالعات Long و همکاران

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه یکی از زیرحوضه‌های مربوط به طرح ملی حوضه‌های معرف و زوجی کشور بوده (Eshghizadeh, 2012) که در حوزه آبخیز شهید نوری کاخک واقع است. این حوضه در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شهر گناباد در خراسان رضوی و بین طول‌های ۵۷' ۵۸°۳۵' تا ۵۸°۳۶' ۳۵" شرقی و عرض‌های ۰۶' ۳۴°۰۴' تا ۰۶' ۳۴°۰۵' شمالی قرار دارد. مساحت این حوضه ۱۰۶/۵ هکتار می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه

مورد مطالعه را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی سالانه ۲۴۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن به ۱۴/۲ درجه سانتی-گراد می‌رسد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۱۷۱ متر از سطح دریا بوده و اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، نیمه‌خشک می‌باشد. پوشش گیاهی غالب آن *Poa Serratula orientalis*, *Lactoca orientalis*, *bulbosa Astragalus* sp., *Gundelia tournefortii*, *Ferula ovina* و *Artemesia* sp. می‌باشد و از نظر پوشش گیاهی جزء منطقه رویشی ایرانی تورانی است (Eshghizadeh et al., 2016).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش کار

جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای

با توجه به شرایط فیزیکی حوضه و تأثیر این عوامل بر رشد و تغییرات تاج پوشش گیاهان در منطقه مورد مطالعه، بازه زمانی انتخاب شده برای دریافت تصاویر ماهواره‌ای به صورتی انتخاب گردید که نخست با زمان

برداشت داده‌های میدانی همزمان باشد و درثانی در دو مرحله با فاصله زمانی تقریباً یک ماهه دریافت شوند تا اختلاف زمانی حداکثر رشد گیاهان مناطق کم ارتفاع‌تر با مرتفع حوضه مطابق با برداشت میدانی پوشش داده شود. برای این منظور، تصاویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۵ و ۲۸ خرداد ۱۳۹۵ برای منطقه از

جهت اصلی به طول ۵۰ متر، حداقل ۵ پلات و در مجموع حداقل ۲۵ پلات در هر واحد یک هکتاری برداشت گردید. سایر اطلاعات پوشش گیاهی هر واحد علاوه بر ثبت در هنگام برداشت، از مطالعات سالانه پوشش گیاهی حوضه استخراج گردید و تیپ گیاهی موجود در هر واحد نیز تعیین شد. در ادامه متوسط وزن خشک بدست آمده از پلات‌های هر واحد یک هکتاری محاسبه گردید. با توجه به زمان بر بودن و پرهزینه بودن اندازه‌گیری مستقیم تمامی واحدهای یک هکتاری سطح حوضه، مناطق همگن بر اساس تیپ گیاهی، خاک و توپوگرافی تعیین و نمونه برداری از آنها انجام شد. شکل ۲ نقشه شبکه واحدهای یک هکتاری مورد مطالعه و واحدهای اندازه‌گیری شده مستقیم بیوماس را نشان می‌دهد.

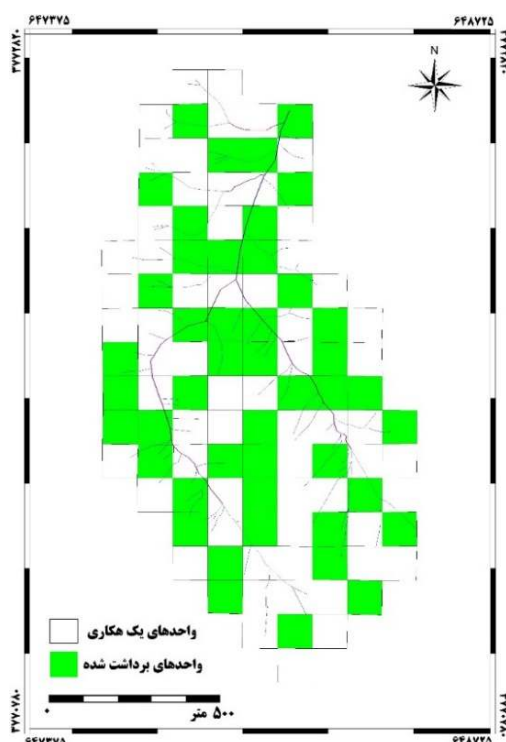
محاسبه شاخص‌های گیاهی

برای این منظور، شاخص‌های گیاهی که رابطه نزدیک‌تری با زیست‌توده گیاهی داشتند، انتخاب و با استفاده از ترکیب باندها در نرم‌افزار انوی برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند. با توجه به دامنه انعکاسی طیف الکترومغناطیس توسط گیاهان، بیشتر از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در محاسبه شاخص‌های گیاهی استفاده شده است اما باندهای آبی و سبز نیز برای محاسبه برخی شاخص‌ها استفاده شده‌اند. جدول ۱ شاخص‌های گیاهی انتخاب شده را نشان می‌دهد. برای شناسایی پیکسل مربوط به هر نمونه (هر واحد یک هکتاری) بر روی لایه‌های تهیه شده از شاخص‌های گیاهی، از عملیات تقاطع در نرم‌افزار الویس (ILWIS) بر روی دو لایه شبکه یک هکتاری و شاخص گیاهی مورد نظر استفاده شد و مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط شاخص مورد نظر در هر واحد محاسبه گردید.

سایت USGS دریافت گردید. سپس عملیات پیش‌پردازش و پردازش تصاویر دریافتی به‌ویژه تصحیحات جوی و رادیومتری در نرم‌افزار انوی (ENVI) نسخه ۵/۳ انجام شد. در مرحله اول، به‌منظور حذف تأثیرات جوی بر تصاویر ثبت شده، تاریخ‌هایی از تصاویر که فاقد پوشش ابر بودند، دریافت گردید. در مرحله بعد، با وجود دقت بالای مکانی تصاویر لندست ۸ (Imani *et al.*, 2018)، دقت مکانی این تصاویر با استفاده از نقاط مشترک مشخص بر روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری ایران و همچنین مختصات نقاط کنترلی داخل حوضه که برای طرح ملی حوضه‌های معرف و زوجی کشور در نظر گرفته شده بود (Eshghizadeh, 2012)، کنترل و تأیید شد. سپس، تصاویر دریافتی ابتدا از جعبه ابزار موجود در نرم‌افزار انوی و قسمت تصحیح رادیومتری (Radiometric Correction) و ابزار واسنجی رادیومتری (Radiometric Calibration)، اطلاعات باندهای تصاویر به‌صورت انعکاسی به رادیانس تبدیل شد (Ghorbani *et al.*, 2017). در مرحله بعد، تصاویر اصلاح شده از قسمت تصحیح اتمسفری و ابزار تصحیح اتمسفری سریع (Quick Atmospheric Correction) و انتخاب نوع ماهواره و سنسور (سری لندست و سنسور OLI)، تحت تصحیح اتمسفری قرار گرفت.

جمع‌آوری داده‌های میدانی

به‌منظور اندازه‌گیری بیوماس تولیدی مرتع در دوره مطالعه، ابتدا سطح حوضه به شبکه‌های مربعی یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر) تقسیم گردید. سپس، مرکز هر واحد بوسیله GPS تعیین و نسبت به نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک از مرکز هر واحد در چهار جهت اصلی جغرافیایی به روش قطع و توزین با استفاده از پلات‌های یک مترمربعی اقدام شد. بدین‌منظور، در هر



شکل ۲- نقشه واحدهای شبکه یک هکتاری مورد مطالعه و واحدهای برداشت شده

جدول ۱- فرمول‌های محاسبه شاخص‌های گیاهی انتخاب شده

منبع	نحوه محاسبه	شاخص گیاهی
Rouse و همکاران (۱۹۷۴)	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	NDVI
Bannari و همکاران (۲۰۰۲)	$TDVI = 1.5 \times [(NIR - RED) / \sqrt{NIR^2 + RED} + 0.5]$	TDVI
Huete (۱۹۸۸)؛ Karnieli و همکاران (۲۰۰۱)	$SAVI = (1 + L) (NIR - RED) / (NIR + RED + L)$ تراکم کم پوشش L=0.25 تراکم متوسط پوشش L=0.5 تراکم بالای پوشش L=0.25	SAVI
Tanre و Kaufman (۱۹۹۲)	$ARVI = (NIR - 2RED - BLUE) / (NIR + 2RED - BLUE)$	ARVI
Huete و همکاران (۲۰۰۲)	$EVI = 2.5 \times [(NIR - RED) / NIR + 6RED - 7.5BLUE + 1]$	EVI
Rondeaux و همکاران (۱۹۹۶)	$OSAVI = (1 + 0.16) \times (NIR - RED) / NIR + RED + 0.16$	OSAVI
Crippen (۱۹۹۰)	$IPVI = NIR / (NIR + RED)$	IPVI
Sripada و همکاران (۲۰۰۶)	$GRVI = NIR / GREEN$	GRVI
Gitelson (۲۰۰۴)	$GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$	GNDVI

تجزیه و تحلیل و اعتبارسنجی

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های موجود، ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس، برای سنجش وجود رابطه خطی بین دو متغیر از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. بدین منظور، ۳۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی نتایج کنار گذاشته شد و با ۷۰ درصد داده‌های موجود، رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده بیوماس با هریک از شاخص‌های گیاهی در نظر گرفته شده، در محیط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به هدف مطالعه، مقدار بیوماس به‌عنوان متغیر وابسته و مقدار هریک از شاخص‌های گیاهی به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد.

با مشخص شدن رابطه رگرسیونی برای هر شاخص گیاهی، مقادیر بیوماس با توجه به مقادیر آن شاخص برآورد گردید و اعتبارسنجی دقت برآورد و مقایسه نتایج حاصل با

مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از معیارهای ضریب تبیین (Coefficient of determination) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) انجام شد. ضریب تبیین (رابطه ۱) بیانگر میزان همخوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی است. مقدار آن بین صفر و یک بوده که هرچه به یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده همخوانی بیشتر مقادیر برآورد شده و مشاهده شده است. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (رابطه ۲) نیز که بیانگر میزان اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده است، اگر کمتر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی نسبتاً خوب و بیشتر از ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی ضعیف می‌باشد (Eshghizadeh et al., 2018).

$$R^2 = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n (B_o - B_{om}) \times (B_e - B_{em}) \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (B_o - B_{om})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_e - B_{em})^2}} \right]^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$nRMSE = \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (B_e - B_o)^2}{N}}}{B_{o \max} - B_{o \min}} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

۳۳۱ کیلوگرم در هکتار نشان داد. حداکثر و حداقل بیوماس تولیدی اندازه‌گیری شده در این واحدها به ترتیب ۹۰۰ و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. جدول ۲ متوسط بیوماس هریک از واحدهای یک هکتاری برداشت شده را در سطح حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

بر اساس خروجی حاصل از عملیات تبدیل و ترکیب باندها در نرم‌افزار انوی، نقشه هریک از شاخص‌های گیاهی برای منطقه مورد مطالعه تهیه و متوسط مقادیر آنها در هر واحد یک هکتاری محاسبه گردید.

در این رابطه، B_o بیوماس اندازه‌گیری شده، B_e بیوماس برآورده شده، B_{om} متوسط بیوماس اندازه‌گیری شده، B_{em} متوسط بیوماس برآورد شده، B_{omax} حداکثر بیوماس اندازه‌گیری شده، B_{omin} حداقل بیوماس اندازه‌گیری شده و N تعداد اندازه‌گیری‌ها می‌باشد.

نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم بیوماس تولیدی در واحدهای یک هکتاری، متوسط بیوماس تولیدی مرتع را

جدول ۲- متوسط بیوماس در هریک از واحدهای یک هکتاری برداشت شده در سطح حوضه مورد مطالعه

شماره واحد	بیوماس (گرم در مترمربع)	شماره واحد	بیوماس (گرم در مترمربع)	شماره واحد	بیوماس (گرم در مترمربع)
۴	۱۷	۴۲	۷۰	۷۳	۳۱
۷	۳۴	۴۴	۱۸	۷۵	۴۲/۵
۱۰	۲۱	۴۷	۹۰	۷۹	۴۰
۱۱	۵۰/۵	۴۸	۶۱	۸۱	۱۵
۱۳	۱۶	۵۰	۴۹	۸۴	۲۵
۱۷	۳۹	۵۲	۲۲	۸۶	۲۲
۱۹	۱۵	۵۴	۲۶	۸۸	۱۷
۲۱	۷۲	۵۷	۲۹	۹۰	۱۶
۲۵	۱۹	۵۸	۳۰	۹۲	۱۴
۲۶	۳۳	۵۹	۱۷/۵	۹۴	۱۵
۲۷	۴۱	۶۰	۱۵/۵	۹۷	۱۵
۳۰	۱۶	۶۱	۴۲/۵	۱۰۰	۱۷/۵
۳۴	۳۵/۵	۶۴	۶۶	۱۰۴	۱۵
۳۸	۵۵	۶۸	۳۹	۱۰۶	۲۹
۳۹	۶۳/۵	۷۰	۱۷		
۴۰	۷۴	۷۲	۱۵		

جدول ۳ مقادیر متوسط شاخص‌های گیاهی محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیونی (جدول ۴)، همبستگی قوی بین متغیرهای مستقل (شاخص‌های گیاهی) و وابسته (بیوماس) وجود داشت. به طوری که بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص ARVI با مقدار ۰/۹۳۸ بوده و کمترین مقدار را شاخص GNDVI با عدد ۰/۸۳۸ داشته است. بیشترین همبستگی با داده‌های بیوماس اندازه‌گیری شده به ترتیب در شاخص‌های ARVI، EVI، NDVI و SAVI مشاهده گردید. نتایج مجذور ضریب همبستگی (R^2) نیز نشان داد شاخص‌های گیاهی می‌توانند مقدار زیادی از واریانس بیوماس را تبیین نمایند و مدل رگرسیونی قادر خواهد بود به خوبی داده‌ها را برازش کند. همچنین، با توجه به اینکه برای تمامی شاخص‌ها

مقدار مجموع مجذورات باقیمانده خیلی کوچکتر از مجموع مجذورات رگرسیون است، نشان‌دهنده قدرت تبیین‌گری بالای مدل‌های خطی رگرسیونی در توضیح تغییرات بیوماس است. با توجه به معنی‌داری مقدار F در سطح خطای کوچکتر از ۰/۰۰۱ برای تمامی شاخص‌ها، مشخص می‌شود که این شاخص‌ها از قدرت تبیین بالایی برخوردار بوده و قادرند به خوبی میزان تغییرات و واریانس بیوماس را توضیح دهند، در نتیجه مدل رگرسیونی حاصل از آنها به شکل قابل قبولی قادر به نشان دادن تغییرات بیوماس است.

نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد ضریب رگرسیونی استاندارد شده برای تمامی شاخص‌ها در سطح خطای کوچکتر از ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. بنابراین می‌توان گفت هریک از شاخص‌های گیاهی مطالعه شده بر تخمین بیوماس مؤثر است.

جدول ۳- مقادیر متوسط شاخص‌های گیاهی در هریک از واحدهای شبکه یک هکتاری حوضه

مقادیر متوسط شاخص									شماره
GNDVI	GRVI	IPVI	OSAVI	EVI	ARVI	SAVI	TDVI	NDVI	واحد
۰/۲۷۶	۱/۷۶۳	۰/۵۸۶	۰/۲۰۰	۰/۴۶۶	۰/۰۰۲	۰/۲۵۸	۰/۸۲۰	۰/۱۷۲	۴
۰/۲۶۹	۱/۷۳۷	۰/۵۹۰	۰/۲۱۰	۰/۵۶۳	۰/۰۱۷	۰/۲۷۲	۰/۸۲۵	۰/۱۸۱	۷
۰/۲۷۹	۱/۷۷۷	۰/۵۸۸	۰/۲۰۵	۰/۴۴۳	-۰/۰۰۷	۰/۲۶۵	۰/۸۲۳	۰/۱۷۷	۱۰
۰/۲۸۴	۱/۷۹۳	۰/۵۹۶	۰/۲۲۲	۰/۵۲۰	۰/۰۱۳	۰/۲۸۷	۰/۸۳۱	۰/۱۹۱	۱۱
۰/۲۶۰	۱/۷۰۴	۰/۵۸۰	۰/۱۸۶	۰/۳۹۳	-۰/۰۱۹	۰/۲۴۱	۰/۸۱۳	۰/۱۶۱	۱۳
۰/۲۹۰	۱/۸۱۷	۰/۵۹۶	۰/۲۲۳	۰/۶۱۰	۰/۰۴۱	۰/۲۸۹	۰/۸۳۲	۰/۱۹۲	۱۷
۰/۲۵۸	۱/۶۹۸	۰/۵۷۹	۰/۱۸۴	۰/۳۷۹	-۰/۰۲۱	۰/۲۳۸	۰/۸۱۲	۰/۱۵۹	۱۹
۰/۲۹۱	۱/۸۲۳	۰/۶۰۲	۰/۲۳۶	۰/۶۵۶	۰/۰۴۸	۰/۳۰۵	۰/۸۳۹	۰/۲۰۴	۲۱
۰/۲۶۶	۱/۷۲۷	۰/۵۸۴	۰/۱۹۵	۰/۳۷۹	-۰/۰۱۹	۰/۲۵۲	۰/۸۱۷	۰/۱۶۸	۲۵
۰/۲۸۳	۱/۷۹۱	۰/۵۹۷	۰/۲۲۴	۰/۵۴۱	۰/۰۱۸	۰/۲۹۰	۰/۸۳۳	۰/۱۹۴	۲۶
۰/۲۸۸	۱/۸۰۷	۰/۵۹۶	۰/۲۲۳	۰/۶۲۳	۰/۰۴۱	۰/۲۸۸	۰/۸۳۲	۰/۱۹۲	۲۷
۰/۲۶۲	۱/۷۱۰	۰/۵۸۰	۰/۱۸۵	۰/۳۵۴	-۰/۰۲۷	۰/۲۴۰	۰/۸۱۲	۰/۱۶۰	۲۸
۰/۲۸۲	۱/۷۸۴	۰/۵۹۲	۰/۲۱۳	۰/۵۶۲	۰/۰۳۰	۰/۲۷۵	۰/۸۲۷	۰/۱۸۳	۳۴
۰/۲۸۵	۱/۸۰۳	۰/۶۰۰	۰/۲۳۳	۰/۶۲۶	۰/۰۵۳	۰/۳۰۱	۰/۸۳۷	۰/۲۰۱	۳۸
۰/۳۰۸	۱/۸۹۰	۰/۶۰۳	۰/۲۴۰	۰/۶۸۰	۰/۰۷۲	۰/۳۱۰	۰/۸۴۰	۰/۲۰۷	۳۹
۰/۳۳۶	۲/۰۲۰	۰/۶۲۳	۰/۲۸۶	۰/۷۸۲	۰/۱۰۰	۰/۳۷۰	۰/۸۶۴	۰/۲۴۶	۴۰
۰/۳۰۱	۱/۸۶۳	۰/۶۰۶	۰/۲۴۵	۰/۷۰۴	۰/۰۷۰	۰/۳۱۷	۰/۸۴۳	۰/۲۱۱	۴۲
۰/۲۶۴	۱/۷۱۸	۰/۵۸۳	۰/۱۹۲	۰/۳۹۷	-۰/۰۱۵	۰/۲۴۹	۰/۸۱۶	۰/۱۶۶	۴۴
۰/۳۲۹	۱/۹۸۱	۰/۶۲۲	۰/۲۸۴	۰/۷۷۰	۰/۱۰۹	۰/۳۶۷	۰/۸۶۳	۰/۲۴۴	۴۷
۰/۳۰۷	۱/۸۸۹	۰/۶۰۴	۰/۲۴۱	۰/۶۵۴	۰/۰۷۰	۰/۳۱۱	۰/۸۴۱	۰/۲۰۷	۴۸
۰/۲۸۴	۱/۷۹۵	۰/۶۰۰	۰/۲۳۱	۰/۵۹۲	۰/۰۴۲	۰/۲۹۹	۰/۸۳۶	۰/۱۹۹	۵۰
۰/۲۶۵	۱/۷۲۲	۰/۵۸۴	۰/۱۹۶	۰/۴۵۴	۰/۰۰۲	۰/۲۵۴	۰/۸۱۸	۰/۱۶۹	۵۲
۰/۲۶۱	۱/۷۰۸	۰/۵۸۴	۰/۱۹۵	۰/۵۳۶	۰/۰۲۶	۰/۲۵۲	۰/۸۱۷	۰/۱۶۸	۵۴

مقادیر متوسط شاخص									شماره
GNDVI	GRVI	IPVI	OSAVI	EVI	ARVI	SAVI	TDVI	NDVI	واحد
۰/۲۷۴	۱/۷۵۷	۰/۵۹۴	۰/۲۱۸	۰/۶۵۷	۰/۰۵۵	۰/۲۸۲	۰/۸۲۹	۰/۱۸۸	۵۷
۰/۲۷۱	۱/۷۴۲	۰/۵۹۰	۰/۲۱۰	۰/۴۹۴	۰/۰۱۵	۰/۲۷۱	۰/۸۲۵	۰/۱۸۱	۵۸
۰/۲۶۲	۱/۷۱۳	۰/۵۸۳	۰/۱۹۱	۰/۳۵۱	-۰/۰۲۶	۰/۲۴۸	۰/۸۱۶	۰/۱۶۵	۵۹
۰/۲۵۰	۱/۶۶۶	۰/۵۷۸	۰/۱۸۱	۰/۴۴۱	-۰/۰۰۵	۰/۲۳۳	۰/۸۱۰	۰/۱۵۶	۶۰
۰/۲۶۶	۱/۷۲۵	۰/۵۹۲	۰/۲۱۴	۰/۵۷۲	۰/۰۲۳	۰/۲۷۷	۰/۸۲۷	۰/۱۸۵	۶۱
۰/۳۰۳	۱/۸۷۲	۰/۶۰۸	۰/۲۵۰	۰/۷۸۸	۰/۰۸۸	۰/۳۲۴	۰/۸۴۶	۰/۲۱۶	۶۴
۰/۲۸۳	۱/۷۹۲	۰/۵۹۲	۰/۲۱۴	۰/۵۰۶	۰/۰۲۲	۰/۲۷۶	۰/۸۲۷	۰/۱۸۴	۶۸
۰/۲۳۶	۱/۶۲۰	۰/۵۸۱	۰/۱۸۷	۰/۵۶۶	۰/۰۱۷	۰/۲۴۱	۰/۸۱۳	۰/۱۶۱	۷۰
۰/۲۴۸	۱/۶۵۹	۰/۵۸۸	۰/۲۰۳	۰/۶۴۵	۰/۰۳۱	۰/۲۶۳	۰/۸۲۲	۰/۱۷۵	۷۲
۰/۲۶۰	۱/۷۰۷	۰/۵۹۱	۰/۲۱۱	۰/۵۳۸	۰/۰۱۷	۰/۲۷۳	۰/۸۲۶	۰/۱۸۲	۷۳
۰/۳۰۲	۱/۸۶۷	۰/۶۰۵	۰/۲۴۵	۰/۵۹۱	۰/۰۴۶	۰/۳۱۶	۰/۸۴۳	۰/۲۱۱	۷۵
۰/۲۷۵	۱/۷۶۲	۰/۵۹۹	۰/۲۲۸	۰/۶۶۱	۰/۰۴۸	۰/۲۹۵	۰/۸۳۵	۰/۱۹۷	۷۹
۰/۲۴۱	۱/۶۳۵	۰/۵۷۹	۰/۱۸۴	۰/۴۷۸	-۰/۰۰۳	۰/۲۳۷	۰/۸۱۱	۰/۱۵۸	۸۱
۰/۲۸۴	۱/۷۹۵	۰/۵۹۸	۰/۲۲۸	۰/۴۳۲	۰/۰۱۳	۰/۲۹۵	۰/۸۳۵	۰/۱۹۷	۸۴
۰/۲۸۸	۱/۸۰۹	۰/۵۹۷	۰/۲۲۵	۰/۵۷۰	۰/۰۳۶	۰/۲۹۱	۰/۸۳۳	۰/۱۹۴	۸۶
۰/۲۶۲	۱/۷۱۰	۰/۵۸۶	۰/۱۹۹	۰/۴۲۳	-۰/۰۰۶	۰/۲۵۷	۰/۸۱۹	۰/۱۷۱	۸۸
۰/۲۶۳	۱/۷۱۴	۰/۵۹۰	۰/۲۰۸	۰/۵۰۰	۰/۰۱۰	۰/۲۶۹	۰/۸۲۴	۰/۱۷۹	۹۰
۰/۲۶۴	۱/۷۱۸	۰/۵۸۹	۰/۲۰۶	۰/۴۴۸	۰/۰۰۱	۰/۲۶۶	۰/۸۲۳	۰/۱۷۷	۹۲
۰/۲۶۴	۱/۷۱۸	۰/۵۸۸	۰/۲۰۳	۰/۴۶۵	۰/۰۰۵	۰/۲۶۳	۰/۸۲۲	۰/۱۷۶	۹۴
۰/۲۶۷	۱/۷۳۲	۰/۵۹۱	۰/۲۱۱	۰/۴۸۳	۰/۰۰۶	۰/۲۷۳	۰/۸۲۶	۰/۱۸۲	۹۷
۰/۲۸۱	۱/۷۸۴	۰/۵۹۴	۰/۲۱۹	۰/۴۲۰	۰/۰۰۱	۰/۲۸۲	۰/۸۳۰	۰/۱۸۸	۱۰۰
۰/۲۷۳	۱/۷۵۲	۰/۵۸۹	۰/۲۰۶	۰/۴۰۵	۰/۰۱۳	۰/۲۶۶	۰/۸۲۳	۰/۱۷۷	۱۰۴
۰/۲۷۸	۱/۷۷۰	۰/۵۹۶	۰/۲۲۳	۰/۴۰۸	۰/۰۰۳	۰/۲۸۸	۰/۸۳۲	۰/۱۹۲	۱۰۶

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی هریک از شاخص‌های گیاهی با بیوماس اندازه‌گیری شده

P	t	β	مجموع		P	F	R ² تعدیلی	R ²	R	متغیر	متغیر
			مجذورات رگرسیون	مجذورات باقیمانده						مستقل	وابسته
P<۰.۰۱	۹/۷۱	۰/۸۷۸	۷۵۵۰/۶	۲۲۴۳/۲	P<۰.۰۱	۹۴/۲۵	۰/۷۶۳	۰/۷۷۱	۰/۸۷۸	NDVI	
P<۰.۰۱	۹/۴۷	۰/۸۷۳	۷۴۶۲/۷۵	۲۳۳۱/۱	P<۰.۰۱	۸۹/۶۴	۰/۷۵۳	۰/۷۶۲	۰/۸۷۳	TDVI	
P<۰.۰۱	۹/۷	۰/۸۷۸	۷۵۴۷/۲۵	۲۲۴۶/۶	P<۰.۰۱	۹۴/۰۶	۰/۷۶۲	۰/۷۷۱	۰/۸۷۸	SAVI	
P<۰.۰۱	۱۴/۳	۰/۹۳۸	۸۶۱۴/۳۹	۱۱۷۹/۴۵	P<۰.۰۱	۲۰۴/۵	۰/۸۷۵	۰/۸۸	۰/۹۳۸	ARVI	
P<۰.۰۱	۱۱/۴۴	۰/۹۰۸	۸۰۶۷/۴۵	۱۷۲۶/۳۵	P<۰.۰۱	۱۳۰/۸۵	۰/۸۱۷	۰/۸۲۴	۰/۹۰۸	EVI	بیوماس
P<۰.۰۱	۹/۶۶	۰/۸۷۷	۷۵۳۴/۳۴	۲۲۵۹/۵	P<۰.۰۱	۹۳/۳۷	۰/۷۶۱	۰/۷۶۹	۰/۸۷۷	OSAVI	
P<۰.۰۱	۹/۶۳	۰/۸۷۷	۷۵۲۴/۳۵	۲۲۶۹/۴۹	P<۰.۰۱	۹۲/۸۳	۰/۷۶	۰/۷۶۸	۰/۸۷۷	IPVI	
P<۰.۰۱	۸/۲۲	۰/۸۴۲	۶۹۲۶/۲۱	۲۸۶۷/۶۳	P<۰.۰۱	۶۷/۶۳	۰/۶۹۷	۰/۷۰۷	۰/۸۴۱	GRVI	
P<۰.۰۱	۸/۱۲	۰/۸۳۸	۶۸۷۴/۹۲	۲۹۱۸/۹۳	P<۰.۰۱	۶۵/۹۵	۰/۶۹۱	۰/۷۰۲	۰/۸۳۸	GNDVI	

EVI متغیر بوده است. شکل ۴ نقشه بیوماس تولیدی حوضه مورد مطالعه را بر اساس چهار شاخص گیاهی SAVI، IPVI، GRVI و EVI نشان می‌دهد. بر اساس نتایج اعتبارسنجی، شاخص گیاهی SAVI کمترین خطا را در برآورد بیوماس در این منطقه داشته است. مقدار ضریب تبیین برای این شاخص ۰/۷۹ و مقدار nRMSE برای آن ۱۴/۷۳ درصد بوده است. جدول ۶ مقادیر ضریب تبیین و nRMSE محاسبه شده برای مقادیر برآوردی بیوماس را بر اساس شاخص‌های گیاهی به‌کار رفته در این پژوهش نشان می‌دهد.

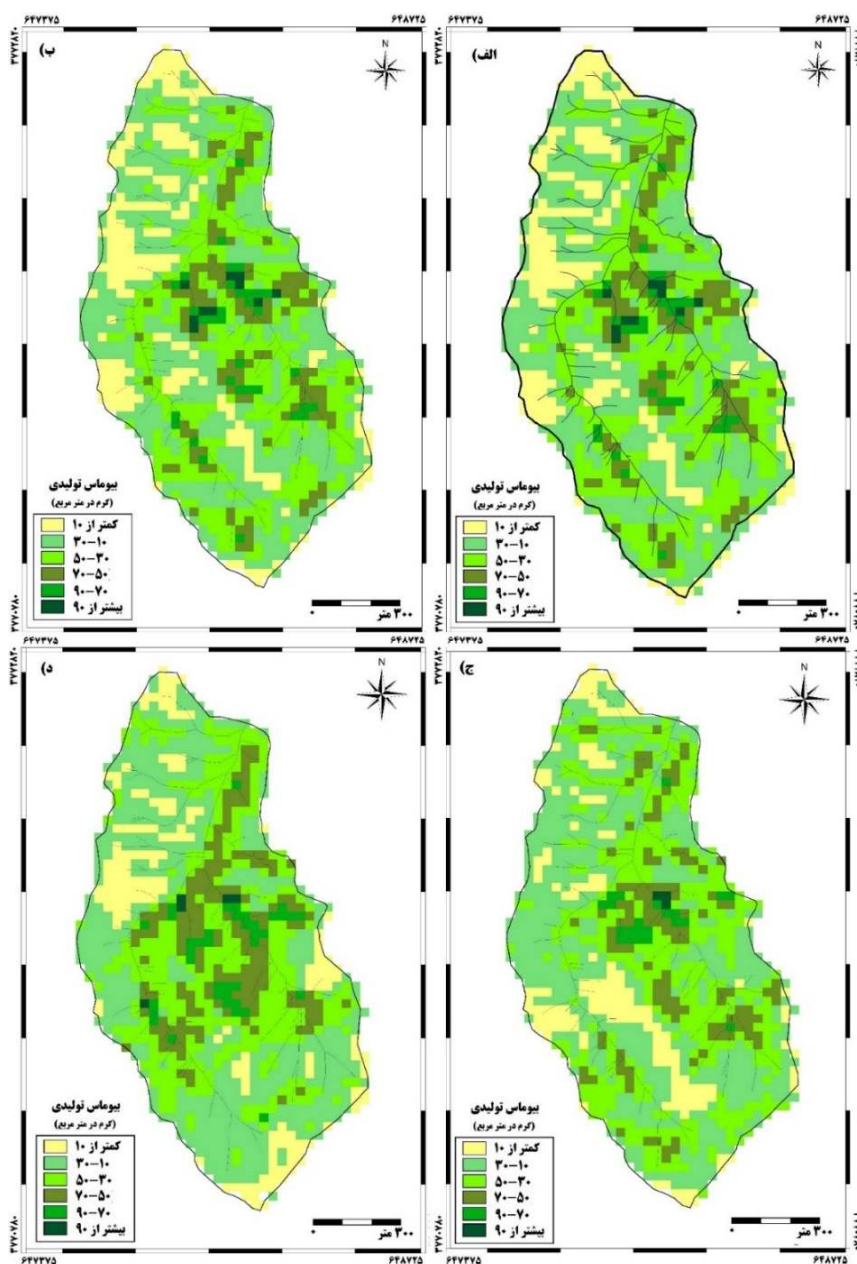
مدل رگرسیون خطی برازش داده شده برای برآورد بیوماس تولیدی برای هر شاخص گیاهی بر حسب گرم بر مترمربع در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس این مدل، نقشه بیوماس تولیدی حوضه مورد مطالعه تهیه گردید. نتایج حاصل از بررسی مقادیر بیوماس برآوردی توسط شاخص‌های در نظر گرفته شده نشان داد، نزدیک به ۴۰ درصد سطح حوضه از بیوماس بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار برخوردار بوده است. متوسط بیوماس اندازه‌گیری شده کل حوضه ۳۳۱ کیلوگرم در هکتار بوده که مقادیر برآوردی توسط شاخص‌ها بین ۳۱۷ در شاخص OSAVI تا ۳۳۳ کیلوگرم در هکتار در شاخص

جدول ۵- مدل رگرسیون خطی برآورد بیوماس بر حسب گرم در مترمربع

مدل رگرسیون خطی	خطای برآورد	ضریب همبستگی	شاخص پوشش گیاهی
$Y=810.6X-118.4$	۸/۹۵	۰/۸۷۸	NDVI
$Y=1346.4X-1082.7$	۹/۱۲	۰/۸۷۳	TDVI
$Y=538.2X-117.8$	۸/۹۶	۰/۸۷۸	SAVI
$Y=518.1X+21.5$	۶/۴۹	۰/۹۳۸	ARVI
$Y=140.5X-41.6$	۷/۸۵	۰/۹۰۸	EVI
$Y=697.6X-118.2$	۸/۹۳	۰/۸۷۷	OSAVI
$Y=1614.8X-925.2$	۹/۰۰	۰/۸۷۷	IPVI
$Y=193.5X-310.3$	۱۰/۱۲	۰/۸۴۱	GRVI
$Y=766.3X-180.1$	۱۰/۲۱	۰/۸۳۸	GNDVI

جدول ۶- مقادیر ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مقادیر برآوردی بیوماس براساس شاخص های گیاهی

ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده	ضریب تبیین	شاخص پوشش گیاهی
۱۴/۷۳	۰/۷۸۹	NDVI
۱۴/۸۴	۰/۷۸۸	TDVI
۱۴/۷۳	۰/۷۹	SAVI
۱۷/۹۵	۰/۶۳	ARVI
۲۰/۹۶	۰/۵	EVI
۱۴/۷۶	۰/۷۸۹	OSAVI
۱۴/۷۴	۰/۷۸۹	IPVI
۱۶/۲۲	۰/۷۶۲	GRVI
۱۶/۵۱	۰/۷۴۶	GNDVI



شکل ۳- نقشه بیوماس تولیدی حوضه مورد مطالعه بر اساس چهار شاخص گیاهی الف) SAVI، ب) IPVI، ج) GRVI، د) EVI

انجام شود (Ghorbani *et al.*, 2018).

در این مطالعه برای بررسی رابطه تعدادی از شاخص‌های گیاهی رایج با بیوماس، از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد به ترتیب دو شاخص ARVI (شاخص گیاهی مقاومت اتمسفری) و EVI (شاخص گیاهی بهبود داده شده) که از باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و آبی برای محاسبات استفاده می‌کنند، بیشترین

بحث

سنجش از دور با بکارگیری تکنیک‌های مختلف، یکی از ابزارهای توانمند در پایش و ارزیابی مراتع و به‌ویژه پوشش گیاهی به‌شمار می‌رود. با توجه به اینکه گیاهان دارای خصوصیات طیفی خاص خود می‌باشند، ترکیب و تلفیق باندهای مختلف تصاویر حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی و محاسبه شاخص‌های گیاهی مناسب باید

نتایج خود بیان نمودند شاخص‌های گیاهی که از نسبت-گیری باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز مرئی حاصل می-شوند، همبستگی بالایی با بیوماس در مراتع با جوامع گیاهی بوته‌ای، گراس و پهن‌برگ نشان می‌دهند.

از سوی دیگر، نتایج حاصل اعتبارسنجی، دقت برآورد دو شاخص ARVI و EVI را نسبت به سایر شاخص‌ها کمتر نشان داد. علت این امر می‌تواند ناشی از بکارگیری باند آبی در محاسبات و تحت تأثیر قرار دادن مقادیر انرژی الکترومغناطیس در اثر عوامل جوی به‌ویژه گردوغبار باشد که نیازمند اصلاح مقادیر ضرایب در محاسبه این دو شاخص از طریق واسنجی است. همچنین، بر اساس نظر Huete و همکاران (۱۹۹۹)، با توجه به اینکه این دو شاخص برای مناطق با پوشش گیاهی و بیوماس بالا تعریف شده‌اند، احتمالاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک از کارایی کمتری در برآورد بیوماس گیاهی برخوردار باشند.

نتایج این تحقیق نشان داد دو شاخص GRVI و GNDVI به ترتیب در رتبه‌های ششم و هفتم در بین شاخص‌های استفاده شده از نظر نتایج اعتبارسنجی قرار می-گیرند. علت این امر نیز می‌تواند ناشی از این موضوع باشد که در این شاخص‌ها، باند سبز جایگزین باند قرمز شده است و میزان پراکنش باند سبز در این منطقه بیشتر از باند قرمز است. با مقایسه این دو شاخص نسبت به دو شاخص ARVI و EVI که باند آبی را در محاسبات خود وارد می-کنند، می‌توان نتیجه گرفت که هرچه شاخص‌های گیاهی از باندهای با طول موج کوتاه‌تر استفاده کنند، در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بیشتر تحت تأثیر ریزگردها است، دقت برآوردها می‌تواند کاهش یابد، مگر اینکه از ضرایب اصلاحی برای واسنجی مقادیر شاخص‌ها استفاده شود. البته این امر می‌تواند در ادامه تحقیقات آینده محققان روی شاخص‌های گیاهی در این مناطق در نظر گرفته شود.

بر اساس نتایج Bannari و همکاران (۲۰۰۲)، در عرصه‌های با پوشش گیاهی پراکنده تا تراکم متوسط، مقادیر برآورد شده توسط شاخص NDVI، بیش برآورد خواهد بود، اما شاخص‌های TDVI و SAVI آن را بصورت درست

همبستگی را با بیوماس پوشش گیاهی مرتعی مورد مطالعه داشته‌اند. نتایج Kaufman و Tanre (۱۹۹۲) نشان داد شاخص ARVI چهار برابر کمتر نسبت به شاخص NDVI به اثرهای جوی حساس است. بر اساس مطالعه آنان، تعریف شاخص وزنی برای باند آبی در مناطق با پوشش گیاهی می‌تواند برای اصلاح اثرهای جوی ریز تا درشت از قبیل دود و ریزگردها استفاده شود. کاربرد مدل خطی تجربی برای تصحیح جوی توسط Ariza و همکاران (۲۰۱۸) قابلیت تفکیک طیفی را برای باند آبی ۳۰ تا ۳۵ درصد و برای باند مادون قرمز نزدیک، ۸۵ تا ۹۵ درصد افزایش داد و برآورد مناطق تحت پوشش گیاهی توسط شاخص‌های گیاهی مانند NDVI را بهبود داد. همچنین Pflug و همکاران (۲۰۱۵) از نسبت بین دو باند قرمز و آبی برای تصحیح جوی مربوط به اثرهای هواپخش‌ها (aerosol) استفاده نمودند. علاوه‌براین، وجود باندهای قرمز مرئی و مادون قرمز نزدیک در این شاخص‌ها نشان‌دهنده تحت تأثیر قرار گرفتن این طول موج‌ها از بیوماس بوده که دلیل آن انعکاس بیشتر پوشش گیاهی در محدوده مادون قرمز نزدیک نسبت به خاک می‌باشد. Pordel و همکاران (۲۰۱۷) نیز با ارزیابی انواع شاخص‌های گیاهی در برآورد خصوصیات پوشش گیاهی مرتع منطقه مرجن بروجن گزارش کردند که شاخص‌های EVI، SAVI، ARVI و NDVI دارای قوی‌ترین ارتباط و همبستگی با پوشش سبز گیاهی مرتع بودند. Hansen و Schjoerring (۲۰۰۳) نسبت‌گیری از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در مطالعات مختلف را برای برآورد بیوماس گیاهی، شاخص سطح برگ و تراکم کلروفیل برگ از طریق مدل‌های رگرسیونی با شاخص NDVI تأیید نموده‌اند. بر اساس مطالعات Akkartal و همکاران (۲۰۰۴) و Ghorbani و همکاران (۲۰۱۷) باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک توانایی لازم را برای برآورد بیوماس جوامع گیاهی دارند. Ustuner و همکاران (۲۰۱۴) این باندها را در مطالعات کشاورزی و پوشش گیاهی جنگلی پرکاربرد می-دانند. همچنین Soleymani و همکاران (۲۰۰۷) نیز در

پوشش گیاهی باشد (Song, 2004). نتایج حاصل از این مطالعه نیز موارد بالا را تأیید می‌نماید.

روشی که در این مطالعه برای تعیین واحدهای نمونه- برداری میدانی در نظر گرفته شد این امکان را می‌دهد که علاوه بر تطبیق دقیق‌تر واحدهای نمونه‌برداری میدانی با مقادیر پیکسل‌های نقشه‌های شاخص گیاهی، نمونه‌برداری در هر واحد با روشی مجزا انجام شود. این امر در مورد مناطقی که دارای کاربری‌های مختلف و انواع پوشش‌های گیاهی درختی، درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی می‌باشند می‌تواند به علت امکان استفاده از روش نمونه‌برداری مناسب با نوع پوشش، دقت بیشتر برآوردها را فراهم نماید. Soleymani و همکاران (۲۰۰۷) نیز برای این منظور واحدهای نمونه‌برداری با مساحت ۰/۸ هکتاری را پیشنهاد نموده‌اند.

نتایج Arzani و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاربرد مدل‌های رگرسیونی را در برآورد بیوماس مراتع تأیید می‌نماید. نتایج حاصل از این تحقیق همانند تعداد زیادی از مطالعات انجام شده به‌منظور برآورد بیوماس مراتع، توانایی و قابلیت کاربرد داده‌های ماهواره‌ای را برای برآورد بیوماس مراتع مناطق نیمه‌خشک نشان داد.

کاربرد داده‌های سنجش از دوری برای پایش و ارزیابی مراتع می‌تواند اطلاعات مناسبی را برای آگاهی از بیوماس و وضعیت جوامع گیاهی و تغییرات آنها در طول زمان فراهم نماید. علاوه بر برآورد مقادیر بیوماس در عرصه‌های مرتعی، این داده‌ها می‌توانند به‌صورت مکمل همراه با نمونه‌برداری میدانی برای افزایش دقت در مطالعات پوشش و اندازه‌گیری تولید مراتع استفاده شوند. با توجه به تأثیرات عوامل محیطی از قبیل پارامترهای آب و هوایی، توپوگرافی، خاک، زمین- شناسی، هیدرولوژی، ژئوهیدرولوژی و موجودات زنده بر خصوصیات و ویژگی‌های پوشش گیاهی یک منطقه، شاخص‌های گیاهی برای برآورد بیوماس می‌توانند در مناطق همگن و مشابه بکار روند، اما توصیه می‌شود کاربرد آنها در مناطق با شرایط فیزیکی متفاوت پس از انجام تحقیقات بیشتر انجام شود. همچنین برای کاربرد در سال‌های مختلف

نشان خواهند داد. نتایج این تحقیق نشان داد تمامی شاخص‌ها مقدار بیوماس را کم برآورد نشان داده است.

شاخص گیاهی تفاوت تبدیل شده (TDVI)، اثرهای ایجاد شده توسط بازتاب امواج الکترومغناطیس نور خورشید را از خاک لخت به حداقل می‌رساند. زیرا این شاخص با نرمال‌سازی که بر روی امواج بازتابی خاک انجام می‌دهد نسبت به این امواج حساسیت کمتری نشان داده، در نتیجه رابطه خطی بالایی با پوشش گیاهی ایجاد می‌نماید. این امر کاربرد آن را در حوضه‌هایی که از تراکم زیاد پوشش گیاهی برخوردار نیستند امکان‌پذیر می‌سازد. نتایج این تحقیق نیز کارایی بالای این شاخص را در تخمین بیوماس مرتع تأیید نمود. Bannari و همکاران (۲۰۰۲) در مقایسه این شاخص با شاخص‌های NDVI و SAVI کارایی آن را مورد تأیید قرار دادند. براساس مطالعه آنان، در خاک‌های روشن و خشک مقدار خطای شاخص NDVI به ۲۸ درصد رسیده است، درحالی که مقدار خطای شاخص‌های TDVI و SAVI ۱۲ درصد بوده است که البته برای SAVI این مقدار در خاک‌های تیره و مرطوب به ۵ درصد کاهش یافت. مقدار خطای محاسبه شده شاخص SAVI در حوضه مورد مطالعه در این تحقیق ۹ درصد بوده است که با محتوای رطوبتی متوسط و خاک تیره و روشن آن قابل توجیه است.

نتایج اعتبارسنجی شاخص‌های در نظر گرفته شده نشان داد که تمامی شاخص‌ها در حد قابل قبولی دارای دقت کافی برای برآورد بیوماس از روی داده‌های تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند. در این بین، شاخص گیاهی SAVI دارای بیشترین دقت در برآورد بیوماس بوده است. شاخص‌های NDVI، IPVI و OSVI نیز تقریباً با دقت برابر با شاخص SAVI در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج Imani و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد شاخص SAVI در مناطقی که از پوشش گیاهی کمتری برخوردار هستند نسبت به NDVI نتایج بهتری را ارائه می‌نماید. تغییرات شاخص‌هایی که از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند به شدت متأثر از تغییرات پوشش گیاهی و بیوماس می‌باشد. بنابراین استفاده از این شاخص می‌تواند معرف خوبی از تغییرات

- Azimzadeh, H. R., 2016. Effect of natural land covers on runoff and soil loss at the hill-slope scale. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(2): 125-134.
- Gitelson, A. A., 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of crop biophysical characteristics. *Journal of Plant Physiology*, 161: 165-173.
- Ghorbani, A., Pournemati, A. and Panahande, M., 2017. Estimating and mapping Sabalan rangelands aboveground phytomass using Landsat 8 images. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(1): 165-180.
- Hags, R. D., Van Rees, J., Schoenau, K. C. J. and Guo, X., 2011. A simple technique for estimating above-ground biomass in short-rotation willow plantations. *Journal of Biomass and Bioenergy*, 35: 2156-2162.
- Hansen, P. M. and Schjoerring, J. K., 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 86: 542-553.
- Huete, A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.
- Huete, A. R., Justice, C. and Van Leeuwen, W., 1999. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document, NASA Goddard Space Flight Center.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213.
- Imani, J., Ebrahimi, A., Ghohlinejad, B. and Tahmasebi, P., 2018. Comparison of NDVI and SAVI in three plant communities with different sampling intensity (Case study: Choghakhour Lake rangelands in Charmahal & Bakhtiri). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(1): 152-169.
- Jackson, R. D., Slater, P. N. and Pinter, P. J., 1983. Discrimination of growth and turbid atmospheres. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 13: 187-208.
- Kaufman, Y. J. and Tanre, D., 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30: 261-270.
- Karnieli, A., Kaufman, Y. J., Rmer, L. and Wald, A., 2001. AFRI, aerosol free vegetation index. *Journal*

بهرتر است ابتدا سال‌ها از نظر اقلیمی طبقه‌بندی شوند و سال‌های پربارش و کم بارش در دو گروه مختلف قرار گیرند، سپس برای هر گروه یکبار روابط تجربی موجود واسنجی و اعتبارسنجی شده و هر سال با توجه به مقدار بارش سالانه، از روابط تجربی واسنجی شده مناسب آن استفاده نمود. به‌طور کلی، یکی از مهمترین مزیت‌های کاربرد تصاویر دورسنجی شده در برآورد بیوماس مراتع، امکان پایش و ارزیابی مستمر آن در طول زمان و شرایط مختلف اقلیمی است. این امر آمادگی قسمت‌های مختلف مرتع را برای چرا در بازه‌های زمانی کوتاه فراهم می‌کند.

منابع مورد استفاده

- Akkartal, A., Türüdü, O. and Erbek, F. S., 2004. Analysis of changes in vegetation biomass using multitemporal and multisensory satellite data. XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey.
- Amiri, F., Rashid, A. and Shariff, M., 2010. Using remote sensing data for vegetation cover assessment in semi-arid rangeland of center province of Iran. *World Applied Sciences Journal*, 11(12): 1537-1546.
- Ariza, A., Irizar, M. R. and Bayer, S., 2018. Empirical line model for the atmospheric correction of sentinel-2A MSI images in the Caribbean Islands. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 765-776.
- Arzani, H., Hoseini, S. Z. and Mirakhorlou, K., 2014. Application of Landsat ETM+ images for estimating vegetation production and cover in Taleghan rangelands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(1): 24-31.
- Bannari, A., Asalhi, H., Teillet, P. M., 2002. Transformed difference vegetation index (TDVI) for vegetation cover mapping. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Canada, 24-28 June: 3053-3055.
- Crippen, R. E., 1990. Calculating the vegetation index faster. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 34:71-73.
- Eshghizadeh, M., 2012. Plan review of Kakhk paired catchment, Forests, Range and Watershed Management Organization of Iran. Gonabad.
- Eshghizadeh, M., Talebi, A. and Dastorani, M. T., 2018. A modified LAPSUS model to enhance the effective rainfall estimation by SCS-CN method. *Journal of Water Resources Management*, 32(10): 3473-3487.
- Eshghizadeh, M., Talebi, A., Dastorani, M. T. and

- International Journal of Remote Sensing, 25(16): 3105-3111.
- Sripada, R. P., Heiniger, R. W. White, J. G. and Meijer, A. D., 2006. Aerial color infrared photography for determining early-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*, 98: 968-977.
 - Ustuner, M., Sanli, F. B., Abdikan, S., Esetlili, M. T. and Kurucu, Y., 2014. Crop type classification using vegetation indices of RapidEye imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7: 195-198.
 - Wagle, P., Xiao, X. M., Torn, M. S., Cook, D. R., Matamala, R., Fischer, M. L., Jin, C., Dong, J. and Biradar, C., 2014. Sensitivity of vegetation indices and gross primary production of tallgrass prairie to severe drought. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 152: 1-14.
 - Xiaoping, W., Kai, G. N. and Jing, W., 2011. Hyper spectral Remote Sensing estimation models of aboveground biomass in Gannan rangelands *Procedia. Journal of Environmental Sciences*, 10: 697-702.
 - Xie, Y., Sha, Z., Yu, M., Bai, Y. and Zhang, L., 2009. A comparison of two models with Landsat data for estimating aboveground grassland biomass in Inner Mongolia, China. *Journal of Ecological Modelling*, 220: 1810-1818.
 - Yeganeh, H., Khajeddin S. J. and Soffianian, A. R., 2008. Evaluating the potentials of spectral indices of the MODIS in estimating the plant production in Semirom pastures. *Journal of Rangeland*, 2(1): 63-77.
 - Zarineh, E., Asadi Brojeni, E. and Khorasgani, M. N., 2012. Estimation range production with using satellite data IRS LISS III (Case study of the Tang Sayyad, Chaharmahal and Bakhtiari). *Journal of Iranian Remote Sensing and GIS*, 3(4): 63-80.
 - of Remote Sensing of Environment, 77: 10-21.
 - Long, Y., Zhou, L., Liu, W. and Hua-Kun, Z., 2010. Using remote sensing and GIS technology to estimate grass yield and livestock carrying capacity of Alpine grasslands in Golog Prefecture China. *Journal of Pedosphere*, 20(3): 342-351.
 - Pflug, B., Main-Knorn, M., Makarau, A. and Richter, R., 2015. Validation of aerosol estimation in atmospheric correction algorithm ATCOR. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3, 677-683.
 - Olexa, E. M. and Lawrence, R. L., 2014. Performance and effects of land cover type on synthetic surface reflectance data and NDVI estimates for assessment and monitoring of semi-arid rangeland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30: 30-31.
 - Pordel, F., Ebrahimi, A. and Azizi, Z., 2017. Simulation of green canopy of Marjan pasture during growing season by spectral parameters of OLI sensor. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 4: 191-203.
 - Rondeaux, G., Steven, M. and Baret, F., 1996. Optimization of soil adjusted vegetation indices. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 55:95-107.
 - Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Abstracts of the 3th Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Washington DC: 309-317.
 - Soleymani, K., Tamartash, R., Alavi, F. and Lotfi, S., 2007. Utility of remote sensing data in estimation of rangeland production. Case study: Sefidab Sub-basin of the Lar Dam. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(40): 425-437.
 - Song, X., 2004. Early detection system of drought in East Asia using NDVI from NOAA/AVHRR data.

Evaluation possibility of rangelands biomass estimation using Landsat 8 satellite data

M. Eshghizadeh¹ and Y. Esmailian^{2*}

1- Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources, Faculty of Science, University of Gonabad, Iran

2*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources, Faculty of Science, University of Gonabad, Iran, Email: y.esmailian@gonabad.ac.ir

Received: 06/21/2019

Accepted: 12/24/2019

Abstract

Due to the limitations of field measurements of vegetation, the application of plant indexes to estimate rangeland biomass using satellite data can be very useful in rangeland studies. For this purpose, it is necessary to identify appropriate vegetation indices. The aim of this study is to investigate the possibility of estimating rangeland biomass using plant indices obtained from digital data of Landsat 8 satellite and determining the most appropriate ones in semi-arid regions of the northeast of the country. For this purpose, the average values of plant indices NDVI, TDVI, SAVI, ARVI, EVI, OSAVI, IPVI, GRVI, and GNDVI within each unit of one hectare of the studied basin network were calculated. Then, the correlation of these values with the average measured field values of these units was examined by linear regression, and the regression model of each index was determined to estimate biomass. Finally, the results were validated and a field biomass map was prepared for each index. The results showed that all indexes had a high and acceptable correlation with real biomass data. Based on the validation results, the SAVI plant index with a coefficient 0.79 and root-mean-square error of 14.73% was the most suitable plant index for estimating biomass in the region. By using the wavelengths located in the blue band, these indicators modify the effect of dust in the calculations, which reduces the atmospheric effect and improves the results of calculating the NDVI index, and it can be called the modified NDVI index. According to the results, plant indices obtained from the ratio of near and visible infrared bands are highly correlated with biomass. In general, the shorter the wavelengths used by plant indices, the lower the accuracy of estimates in arid and semi-arid regions.

Keywords: Biomass, remote sensing, vegetation index, landsat satellites, correlation.