ایجاد مدل کالیبراسیون طیف سنج مادون قرمز نزدیک انعکاسی(NIRS) به‌منظور برآورد کیفیت علوفه گونه‌های علفی (فورب)

حسین ارزانی[۱]، مهدخت اله مرادی *[۲]، جواد معتمدی[۳] و مجید آخشی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۳۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۰۱

چکیده

کاربرد طیف سنجی انعکاسی مادون قرمز نزدیک (NIRS) در تعیین شاخص‌های کیفیت علوفه از ۱۹۷۰ گزارش شده است. این روش علاوه بر ایمنی، دارای سرعت زیاد می‌باشد. ولی نیازمند کالیبراسیون مناسب دستگاه با نمونه‌هایی است که نماینده تغییرات جمعیتی که این روش برای آنها به‌کار می‌رود، باشند. بنابراین هدف از این پژوهش ارائه مدل کالیبراسیون NIRS برای گونه‌های علفی (فورب) است. برای این منظور در مجموع، ۶۴۱ نمونه از مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و بذردهی به‌منظور برآورد پنج شاخص ازت (N)، پروتئین خام (CP)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، ماده خشک قابل هضم (DMD) و انرژی متابولیسمی (ME) از طریق NIRS، توسط دستگاه DA7200 Perten، پرتوتابی شد. داده‌های حاصل از پرتوتابی برای آنالیز چند متغیره، به نرم‌افزار Unscrambler منتقل شد. قبل از برازش مدل، برای یکنواخت و نرمال‌سازی پراکنش داده‌ها از روش S.Golay وSNV استفاده شد. ایجاد مدل کالیبراسیون با روشPLS1 نوع یک و اعتبارسنجی مدل با روش CrossValidation انجام شد. قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها، از طریق ضریب تشخیص (R^2)، RMSECV و RPD ارزیابی شد. نتایج ، حاکی از آن است که روش NIRS به‌ترتیب در برآورد شاخص‌های N و CP در مقایسه با سایر شاخص‌ها، کارآیی بهتری دارد. ضمن اینکه به‌طورکلی در برآورد شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، از دقت قابل قبولی برخوردارست. بنابراین می‌توان نمونه‌های کیفیت علوفه گیاهان علفی (فورب‌ها) را به‌منظور برآورد شاخص‌های مذکور، توسط روش طیف‌سنجی NIRS مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. اما باید توجه داشت که دقت پیش‌بینی حاصل از کالیبراسیون‌های ایجاد شده توسط این روش (بر اساس مقادیر PRD اعتبارسنجی) برای برخی شاخص‌های مورد بررسی در مراحل مختلف رشد، اندکی پایین‌تر از حد کافی برای اهداف تحلیلی است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت علوفه، روش آزمایشگاهی، طیف سنجی، گونه‌های علفی.

۱- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: mallahmoradi@ut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۴- کارشناس آزمایشگاه، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

مقدمه

تولید علوفه مراتع به گیاهانی متکی است که به‌صورت خودرو در عرصه مراتع می‌رویند و بر اساس ویژگی‌های ذاتی و محیطی دارای خصوصیات متفاوتی خواهند بود. از جمله این اختلاف‌ها، تفاوت در کیفیت علوفه آنهاست (۶). از طرفی یکی از اهداف اصلی مرتعداری، تولید محصولات دامی است و بازده عملکرد دام در مرتع نیز، وابستگی زیادی به کیفیت علوفه در دسترس آن دارد (۳۶). بنابراین برای رسیدن به عملکرد دام در سطح مطلوب، تأمین نیاز غذایی آن از نظر انرژی، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌ها، ضروری است (۲۰). این موضوع زمانی امکان‌پذیر است که کیفیت علوفه گیاهان مرتعی از نظر ترکیبات شیمیایی مطالعه شده باشد (۶). به‌علاوه تعیین شدت دامگذاری در مرتع نیز منوط به آگاهی از کیفیت علوفه گیاهان مرتعی و نیاز غذایی دام است (۴).

روش‌های اندازه‌گیری کیفیت علوفه به‌طور کلی شامل سه روش استفاده از دام زنده (In vivo)، تلفیق آزمایشگاه و دام (In situ) و آزمایشگاهی (In vitro) هستند (۶). اما تمامی این روش‌ها پرهزینه و زمان‌بر هستند به‌خصوص زمانی که برای تعداد زیادی نمونه بکار می‌روند.

کاربرد طیف سنجی مادون قرمز نزدیک انعکاسی (NIRS)[1] در تعیین شاخص‌های کیفیت علوفه از ۱۹۷۰ گزارش شده است (۲۵، ۲۳، ۳۴، ۱۷، ۱ و ۹).

NIRS بر پایه ارتباط بین خصوصیات شیمیایی تعیین شده توسط روش‌های آزمایشگاهی و میزان جذب طیف مادون قرمز نزدیک در طول موج‌های مختلف توسط نمونه‌های پودر شده، قرار دارد (۱۰). در این روش، هیچ‌گونه محلول شیمیایی به‌کار نمی‌رود و علاوه بر ایمنی، دارای سرعت فوق‌العاده زیادی است اما نیازمند کالیبراسیون مناسب دستگاه با نمونه‌هایی است که نماینده تغییرات جمعیتی که این روش برای آنها به‌کار می‌رود، باشند (۲۹).

واکرز و همکاران[2] (۲۰۰۳)، برآورد کیفیت علوفه ذرت را از نظر شاخص‌های میزان پروتئین خام و انرژی خالص، توسط فناوری NIRS مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش به ایجاد معادلات کالیبراسیونی با دقت بالا و دارای اشتباه استاندارد کمتر از ۰/۳ MJ NEL kgDM−1 برای انرژی خالص و کمتر از $g\ kg^{-1}$ ۱۲۳ ماده‌ی خشک برای پروتئین خام انجامید که حاکی از رضایت بخش بودن برآورد این دو شاخص توسط فناوری NIRS است.

اعتبارسنجی معادلات کالیبراسیونی ایجاد شده در پژوهشی که توسط نوسیانن و همکارانش[3] (۲۷) در رابطه با ارزیابی قابلیت NIRS برای برآورد INDF[4] و DNDF[5] صورت گرفت، خطای برآورد این معادلات را به‌ترتیب g/kg ۱۰ و ۱۹/۱g/kg ماده خشک و ضریب تشخیص آنها را به‌ترتیب R^2= ۰/۹۱ و R^2 =۰/۸۲۳ نشان داد. دکروینر و همکاران[6] (۱۳) نیز به ارزیابی دو شاخص OMD[7] و OMVI[8] با استفاده از NIRS پرداخته و یک مدل کالیبراسیون جهانی ایجاد کردند. ضریب تشخیص این مدل بیش از ۰/۸، اشتباه استاندارد برای این دو شاخص به ترتیب $g/kg\ BW^{0.75}$ ۰/۰۲۱ و $g/kg\ BW^{0.75}$ ۴/۵۱ و دقت آن به اندازه سایر روش‌های برآورد، ارزیابی شد. در پژوهش دیگری که توسط پوجیک و همکارانش (۲۹) به انجام رسید نیز قابلیت روش NIRS برای برآورد دقیق میزان خاکستر لگوم‌ها، مورد تأیید قرار گرفت.

اگرچه در این زمینه، در ایران پژوهش‌های معدودی صورت گرفته است اما در همین پژوهش‌های معدود نیز، کارایی این شیوه برای تعیین کیفیت علوفه گیاهان، مورد تأیید است.

در این راستا، جعفری (۲۰۰۱) امکان استفاده از NIRS را در تخمین قابلیت هضم در گندمیان علوفه‌ای، احمدی (۱) کیفیت علوفه چندگونه مرتعی را در مراحل مختلف فنولوژیکی با استفاده از روش آزمایشگاهی و NIRS ، چاره‌ساز (۲۰۱۲) برآورد پارامترهای کیفیت علوفه را در چند گونه مرتعی توسط NIRS و ارزانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز قابلیت NIRS در برآورد ترکیبات غذایی

1. Near Infrared Reflectance Spectroscopy

2. Volkers
3. Nousiainen
4. Indigestible neutral detergent fibre
5 .Digestible neutral detergent fibre
6. Decruyenaere
7. Organic matter digestibility
8. Organic matter voluntary intake

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

Bromus tomentellus را مورد مطالعه قرار دادند و در نهایت همگی، روش NIRS را به‌عنوان یک روش جدید، سریع، دقیق و کارآمد در اندازه‌گیری کیفیت علوفه گیاهان مرتعی ارزیابی نمودند.

بر همین اساس هدف از پژوهش حاضر، ارائه‌ی مدل‌های کالیبراسیونی برای طیف سنج مادون قرمز نزدیک انعکاسی (NIRS) به‌منظور برآورد مقادیر شاخص‌های کیفیت علوفه گونه‌های علفی (فورب‌ها) است تا ضمن صرفه‌جویی در وقت و هزینه، با دقتی مناسب بتوان درصد نیتروژن (N)، پروتئین خام (CP)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، ماده خشک قابل هضم (DMD) و انرژی متابولیسمی (ME)، برآورد کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام پژوهش حاضر، در گام اول نتایج مربوط به مقادیر شاخص‌های کیفیت علوفه‌ی گونه‌های علفی (فورب‌ها) که مرتبط با نتایج کیفیت علوفه ۵۰۰ گونه مرتعی در مناطق مختلف آب و هوایی کشور است (۷)، از بانک اطلاعاتی موجود استخراج گردید.

در جدول۱، گونه‌های علفی (فورب) مورد بررسی و گسترش آنها در مکان‌های انتخابی مناطق مختلف رویشی کشور ارائه شده است.

برای این منظور از هر گونه در هر مرحله رشد (شامل رشد رویشی، گلدهی و بذردهی)، سه نمونه و برای هر نمونه حداقل ۵ پایه گیاهی بطور تصادفی از نقاط مختلف مرتع جمع آوری شده است (۷) و مقادیر شاخص‌های کیفیت علوفه آنها طبق دستورالعمل AOAC [1] (۱۹۹۵) و به شرح ذیل در آزمایشگاه اندازه گیری شده است.

برای این منظور، پس از اندازه‌گیری درصد نیتروژن (N) به روش کجلدال با استفاده از رابطه۱، درصد پروتئین‌خام (CP) نمونه‌ها برآورد شد.

رابطه۱: $\text{پروتئین‌خام (CP)} = 6/25 \times N\%$

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) با استفاده از روش ارائه شده توسط Van Soest (۱۹۶۳) اندازه‌گیری شد. درصد ماده خشک قابل هضم (DMD) نمونه‌ها توسط معادله پیشنهادی Oddy (۱۹۸۳) (رابطه ۲)، بر مبنای درصد ازت (N) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) نمونه‌ها برآورد شد.

رابطه ۲: $\text{DMD }\% = 83/58 - 0/824\ \text{ADF}\% + 2/262\ \text{N}\%$

انرژی متابولیسمی (ME) گونه‌های گیاهی توسط معادله پیشنهادی SCA (۱۹۹۰) (رابطه ۳) انجام گرفت.

رابطه ۳: $\text{ME(Mj/kg)} = 0/17\ \text{DMD (\%)} - 2$

که در آن؛ DMD%، درصد هضم‌پذیری ماده خشک نمونه‌ها و ME، انرژی متابولیسمی برحسب مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد.

در گام بعد، از بین نمونه‌های مربوط به گونه‌های فورب مورد بررسی، تعدادی نمونه به‌منظور برآورد شاخص‌های کیفیت علوفه با استفاده از روش NIRS و مقایسه نتایج با روش آزمایشگاهی، در مراحل مختلف رشد و سال‌های متفاوت نمونه‌برداری، انتخاب گردید. در مجموع، ۲۰۸ نمونه از مرحله‌ی رشد رویشی، ۲۵۳ نمونه از مرحله گل‌دهی و ۱۸۰ نمونه از مرحله‌ی بذردهی به‌منظور برآورد درصد نیتروژن (N)، پروتئین خام (CP)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، ماده خشک قابل هضم (DMD) و انرژی متابولیسمی (ME)، با استفاده از روش NIRS انتخاب شد.

سپس توسط دستگاه DA7200 Perten (سوئد) با محدوده طول موج ۱۶۵۰- ۹۵۰ نانومتر، هر نمونه چهار بار (به ازای هر نمونه، دو ظرف و هر یک دو بار) پرتوتابی و طیف بازتاب شده از نمونه‌ها (R) به صورت $\log(1/R)$ در فواصل دو نانومتری ثبت شد و فرآیند کالیبراسیون به ترتیب ذیل انجام گرفت:

داده‌های حاصل از پرتوتابی به‌منظور آنالیز چند متغیره، به نرم‌افزار Unscrambler (CAMOAS، نسخه ۹.۵، نروژ) منتقل شد. قبل از برازش مدل، برای یکنواخت و نرمال‌سازی پراکنش داده‌ها از روش S.Golay [2] (۱۹۶۴) و SNV [3] استفاده شد. برای هر مرحله رویشی، نمونه‌ها به دو مجموعه تحت عنوان مجموعه نمونه‌های کالیبراسیون

[1]. Association of Official Analytical Chemists (AOAC)

[2]. *Savitzky-Golay*

[3]. Standard Normal V*ariate*

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

(در بردارنده‌ی ۷۵ درصد کل نمونه‌ها) و مجموعه نمونه‌های اعتبارسنجی (۲۵ درصد کل نمونه‌ها) تقسیم شد. پس از آن ایجاد مدل کالیبراسیون با روش PLS1[1] نوع ۱ (۲۱ و ۲۲) و اعتبار سنجی مدل به‌روش Cross Validation انجام شد. سپس قابلیت پیش‌بینی مدل‌های ایجاد شده، از طریق ضریب تعیین (R^2)، RMSECV[2] (۳۹) و RPD[3] (۴۰ و ۴۱) ارزیابی شد. مدل‌های کالیبراسیون ایجاد شده، با استفاده از مجموعه نمونه‌های اعتبارسنجی، مورد آزمون قرار گرفتند و سپس از آماره‌های SEP، Bias و Slope برای ارزیابی کالیبراسیون‌ها استفاده شد (۸).

از آنجائیکه تنوع رویشگاه‌ها و به‌تبع آن تنوع در اقلیم، خاک و گونه‌ها، واریانس بالایی در میزان شاخص‌های مورد بررسی ایجاد کرده است؛ برای هر یک از شاخص‌های N، CP، ME، ADF وDMD، به ازای هر یک از مراحل رشد (رشد رویشی، گل‌دهی و بذردهی، مدل کالیبراسیون مجزا (با ازای هر شاخص چهار کالیبراسیون) ایجاد شد.

نتایج

خلاصه نتایج تجزیه شمیایی به‌روش آزمایشگاهی برای تمام شاخص‌های مورد نظر در مراحل رشد رویشی، گلدهی و بذردهی شامل تعداد نمونه (N)، دامنه تغییرات (Range)، میانگین (Mean)، اشتباه از معیار (Std. Error) ، انحراف از معیار (Std. Deviation) و واریانس (Variance) در جدول (۲) ارائه شده است.

نتایج حاکی از آن است که ترکیبات شیمیایی مورد بررسی، از دامنه تغییرات وسیعی برخوردار‌اند که این امر می‌تواند به‌علت تنوع سایت‌های اکولوژیک و به‌تبع آن تنوع در اقلیم و نوع خاک رویشگاه‌ها، تنوع گونه‌های مورد بررسی و ویژگی‌های ذاتی هر یک از آنها و همچنین به علت تفاوت در مراحل رشد باشد.

آماره‌های مربوط به مدل‌های کالیبراسیونی ایجاد شده برای تمام شاخص‌های مورد نظر در مراحل رشد رویشی، گلدهی و بذردهی، شامل تعداد نمونه‌های مجموعه کالیبراسیون (N)، خطای استاندارد کالیبراسیون (SEC)، ضریب تعیین کالیبراسیون (R^2) شیب (slope) و عرض از مبدأ (Offset) کالیبراسیون، جذر میانگین مربعات خطای اعتبار سنجی (RMSECV) و نسبت انحراف عملکرد کالیبراسیون (RPD =SD/ RMSECV) در جدول (۳) قابل مشاهده است.

همچنین آماره‌های مربوط به اعتبارسنجی مدل‌های کالیبراسیونی ایجاد شده برای تمام شاخص‌های مورد نظر در مراحل رشد رویشی، گلدهی و بذردهی، شامل تعداد نمونه اعتبارسنجی (N)، خطای استاندارد پیش‌بینی (SEP)، متوسط بین مقادیر حاصل از روش NIRS و روش مرجع (Biass)، ضریب تعیین اعتبارسنجی (R^2) ، شیب (slope) و عرض از مبدأ (Offset) اعتبار سنجی و نسبت انحراف عملکرد کالیبراسیون (RPD =SD/ SEP) در جدول (۴) ارائه شده است.

[1]. Partial Least Squares Type1
[2]. Root Mean Square Error of Cross-Validation
[3]. Ratio Performance Deviation

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

جدول ۱- گونه‌های علفی (فورب) مورد بررسی و گسترش آنها در مکان‌های انتخابی مناطق مختلف رویشی کشور (اقتباس از ارزانی و همکاران، ۲۰۱۱)

نام مکان	نام استان	نام گونه‌ها
قره باغ	آذربایجان غربی	*Helichrysum plicatum, Teucrium polium*
تزخراب	آذربایجان غربی	*Ferunkenia hirsute*
ارشق	اردبیل	*Astragalus brachyodonuts, Falcaria vulgaris*
سرخس	خراسان رضوی	*Convolvulus eremophilus, Astragalus angostifolia*
سرعلی‌آباد	گلستان	*Achillea millifolium, Centaurea zuvandica, Crepis khorassanica, Medicago Sativa, Taraxacum brevidens, Tragopogon graminifolius, Trifolium repens*
سارال	کردستان	*Achillea wilhelmsii, Asyneuma cichoriiforme, Centaurea aucheri, Cephalaria kotschyi, Chaerophyllum macrospermum, Cruciata taurica, Dianthus orientalis, Eryngium noeanum, Echinops pungens, Euphorbia helioscopia , Ferula haussknekhtii Peucedanum kurdica, Pimpinella tragium, Rhabdosciadium aucheri, Rumex scutatus, Silene chlorifolia, Tanacetum polycephalum , Prangus ferulacea,*
پاشایلق	گلستان	*Phlomis olivieri, Stachys inflate,Halothamus glaucus*
زاغه	لرستان	*Phlomis persica,*
چشمه انجیر	فارس	*Acanthophyllum sordidum, Ajuga chamaecistus, Cousinia cylindrical, Dianthus crinitus, Eryngium billardieri, Gypsophilla virgate, Helichrysum aucheri, Marrobium cuneatum, Phlomis olivieri, Picris strigosa, Polygonum aridum, Prangos ferulacea, Scariola orientalis, Scrophularia striata, Scutellaria orientalis, Stachys inflata, Teucrium orientale, Teucrium polium, Achillea eriophora, Pterocephalus canus, Convolvulus leiocalycinus, Chardinia orientalis, Euphorbia petiolata, Gundelia tornefortii, Silene sp., Noaea mucronata.*
آبخوان‌سه‌میمه	اصفهان	*Euphorbia decipiens, Noaea mucronata, Scariola orientalis, Stachys inflata*
ژرف	خراسان رضوی	*Onobrychis vera, Cracianella khorassanica, Convolvulus lineatus, Eremurus spectabilis*
بادامستان	زنجان	*Hypericum Scabrum, Centaurea virgate, Tanacetum polycephalum, Chaerophyllum macropodum, Prangos ferulacea, Centaurea aucheri, Nepeta heliotropifolia,*
یکه باغ	قم	*Andrachne fruticulosa,*
ندوشن	یزد	*Iris songarica, Stachys inflata,*
طبس	یزد	*Anabasis setifera, Alhagi camelorum,*
شیرکوه	یزد	*Cousinia lasiolepis, Eryngium noaeum*
فیروزکوه	تهران	*Centaurea virgate, Cirsium lappaceum, Cousinia multiloba, Euphorbia cheiradenia, Ferula gumosa, Galium verum, Marrobium astracanicum, Silene chlorifolia, Taraxacum officinalis, Tragopogon longirostris*
کردان	البرز	*Centaurea virgata, Ferula galbaniflua, Stachys inflata, Achillea wilhelmsii, Heliochrysum oligocephalum, Ajuga chamaecistus, Astragalus sp., Centaurea sp., Cousinia cylindrica, Silene sp., Ziziphora sp., Tanacetum canescens*
چنگوله	ایلام	*Convolvulus oxyphyllus*
صالح‌آباد	ایلام	*Onosma bulbotrichum*
کبکان	بوشهر	*Alhaji camelorum, Limonium suffruticosum*
زمین‌سنگ	هرمزگان	*Alhaji graecorum, Echiochylon kotschyi, Platychaete aucheri*
سهند	آذربایجان غربی	*Taraxacum azarbaijanicum, Tragopogon margiantus, Cirsium haussknechtii, Tanacetum chiliophyllum, Arenaria dianthoides*
گوراب	اصفهان	*Ferula ovina, Astragalus macrourus*
گون‌بان	کرمانشاه	*Eryngium thyrsoideum*

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

جدول۲- آماره‌های توصیفی شاخص‌های کیفیت علوفه نمونه‌های مورد بررسی در مراحل مختلف رشد

مرحله رشد رویشی					
شاخص / آماره توصیفی	دامنه	میانگین	اشتباه از معیار	انحراف از معیار	واریانس
ازت (N)	۴/۱۹	۲/۷۸	۰/۰۴	۰/۹	۰/۸۱
پروتئین خام (CP)	۲۶/۱۸	۱۷/۳۹	۰/۲۵	۵/۶۳	۳۱/۷۳
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۵۱/۹	۳۰/۴۷	۰/۳۷	۸/۴۱	۷۰/۷۵
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۴۶/۰۱	۶۵/۸۲	۰/۳۷	۸/۴۵	۷۱/۴۱
انرژی متابولیسمی (ME)	۷/۸۲	۹/۱۹	۰/۰۶	۱/۴۴	۲/۰۷
مرحله گلدهی					
شاخص / آماره توصیفی	دامنه	میانگین	اشتباه از معیار	انحراف از معیار	واریانس
ازت (N)	۸/۵۵	۱/۸۷	۰/۰۴	۰/۹	۰/۸۱
پروتئین خام (CP)	۲۶/۱۵	۱۱/۴	۰/۲	۴/۵۸	۲۰/۹۵
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۵۰/۰۱	۳۸/۸۴	۰/۴۱	۹/۵۱	۹۰/۵۱
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۴۸/۴۰	۵۶/۴۹	۰/۴	۹/۲۹	۸۶/۲۸
انرژی متابولیسمی (ME)	۸/۲۳	۷/۶	۰/۰۷	۱/۵۸	۲/۴۹
مرحله بذردهی					
شاخص / آماره توصیفی	دامنه	میانگین	اشتباه از معیار	انحراف از معیار	واریانس
ازت (N)	۳/۳	۱/۲۳	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۳
پروتئین خام (CP)	۲۰/۶۶	۷/۶۷	۰/۱۶	۳/۴۲	۱۱/۷
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۶۰/۲	۴۶/۵۴	۰/۴۸	۱۰/۲۹	۱۰۵/۹۲
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۵۶/۴۷	۴۸/۴۹	۰/۴۴	۹/۴۶	۸۹/۴
انرژی متابولیسمی (ME)	۹/۶	۶/۲۴	۰/۰۷	۱/۶۱	۲/۵۸

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

جدول۳- آماره‌ی مدل‌های کالیبراسیونی ایجاد شده در مراحل مختلف رشد

مرحله رشد رویشی

آماره مدل / شاخص	تعداد نمونه	خطای استاندارد کالبراسیون	ضریب تشخیص کالیبراسیون	شیب از مبدأ کالیبراسیون	عرض از مبدأ کالیبراسیون	جذر میانگین مربعات خطای اعتبار سنجی	نسبت انحراف عملکرد کالیبراسیون
ازت (N)	۱۵۶	۰/۳۴	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۴۷	۰/۰۶	۱۵/۰۱
پروتئین خام (CP)	۱۵۶	۲/۱۷	۰/۸۱	۰/۸۱	۳/۰۳	۰/۳۴	۱۶/۵۷
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۱۵۶	۳/۱۸	۰/۸۱	۰/۸۱	۵/۶۵	۰/۵۳	۱۵/۸۷
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۱۵۶	۳/۲۵	۰/۸۱	۰/۸۱	۱۲/۵۳	۰/۶۱	۱۳/۸۵
انرژی متابولیسمی (ME)	۱۵۶	۰/۵۴	۰/۸۲	۰/۸۲	۱/۶۶	۰/۱	۱۴/۳۷

مرحله گلدهی

آماره مدل / شاخص	تعداد نمونه	خطای استاندارد کالبراسیون	ضریب تعیین کالیبراسیون	شیب از مبدأ کالیبراسیون	عرض از مبدأ کالیبراسیون	جذر میانگین مربعات خطای اعتبار سنجی	نسبت انحراف عملکرد کالیبراسیون
ازت (N)	۱۸۰	۰/۲۲	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۳۱	۰/۰۴	۲۲/۴۶
پروتئین خام (CP)	۱۸۰	۱/۴۳	۰/۸۱	۰/۸۱	۱/۹۴	۰/۴۴	۱۰/۴۰
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۱۸۰	۳/۴۸	۰/۷۷	۰/۷۷	۹/۲۷	۰/۷۳	۱۳/۰۳
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۱۸۰	۳/۱۲	۰/۸۱	۰/۸۱	۱۰/۵۳	۰/۶۷	۱۳/۸۶
انرژی متابولیسمی (ME)	۱۸۰	۰/۵۴	۰/۸	۰/۸	۱/۴۸	۰/۰۹	۱۷/۵۴

مرحله بذردهی

آماره مدل / شاخص	تعداد نمونه	خطای استاندارد کالبراسیون	ضریب تعیین کالیبراسیون	شیب از مبدأ کالیبراسیون	عرض از مبدأ کالیبراسیون	جذر میانگین مربعات خطای اعتبار سنجی	نسبت انحراف عملکرد کالیبراسیون
ازت (N)	۱۳۵	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۱۹	۰/۰۴	۱۳/۶۹
پروتئین خام (CP)	۱۳۵	۱/۰۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۱/۲۲	۰/۳۴	۱۰/۰۶
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۱۳۵	۳/۲۲	۰/۸۱	۰/۸۱	۸/۷۷	۱/۰۹	۹/۴۴
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۱۳۵	۱/۹۲	۰/۸۲	۰/۸۳	۸/۵۵	۰/۹	۱۰/۵۱
انرژی متابولیسمی (ME)	۱۳۵	۰/۴۹	۰/۸۲	۰/۸۲	۱/۰۵	۰/۱۲	۱۳/۴

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

جدول۴- آماره‌های اعتبارسنجی مدل‌های کالیبراسیونی ایجاد شده در مراحل مختلف رشد

مرحله رشد رویشی							
شاخص / آماره مدل	تعداد نمونه اعتبار سنجی	خطای استاندارد پیش‌بینی	متوسط بین مقادیر حاصل از روش NIRS و روش مرجع	ضریب تعیین اعتبار سنجی	شیب از مبدأ اعتبار سنجی	عرض از مبدأ اعتبار سنجی	نسبت انحراف عملکرد اعتبار سنجی
ازت (N)	۵۲	۰/۳۶	۰/۰۰۰	۰/۷۹	۰/۸	۰/۵۱	۲/۵
پروتئین خام (CP)	۵۲	۲/۲۹	۰/۰۰۲	۰/۷۹	۰/۷۹	۳/۲۳	۲/۴۶
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۵۲	۳/۳۸	۰/۰۰۴-	۰/۷۹	۰/۷۹	۶/۱۴	۲/۴۹
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۵۲	۳/۴۷	۰/۰۰۹-	۰/۷۸	۰/۷۹	۱۳/۵۱	۲/۴۴
انرژی متابولیسمی (ME)	۵۲	۰/۵۸	۰/۰۰۱-	۰/۷۹	۰/۸	۱/۷۹	۲/۴۸
مرحله گلدهی							
شاخص / آماره مدل	تعداد نمونه اعتبار سنجی	خطای استاندارد پیش‌بینی	متوسط بین مقادیر حاصل از روش NIRS و روش مرجع	ضریب تعیین اعتبار سنجی	شیب از مبدأ اعتبار سنجی	عرض از مبدأ اعتبار سنجی	نسبت انحراف عملکرد اعتبار سنجی
ازت (N)	۶۳	۰/۲۳	۰/۰۰۰	۰/۷۹	۰/۸	۰/۳۲	۳/۹۱
پروتئین خام (CP)	۶۳	۱/۵۷	۰/۰۰۴-	۰/۷۷	۰/۷۹	۲/۱۶	۲/۹۲
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۶۳	۳/۷۲	۰/۰۰۰	۰/۷۴	۰/۷۵	۹/۹۱	۲/۵۶
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۶۳	۳/۳۴	۰/۰۰۱	۰/۷۹	۰/۷۹	۱۱/۴۴	۲/۷۸
انرژی متابولیسمی (ME)	۶۳	۰/۵۷	۰/۰۰۰-	۰/۷۸	۰/۷۸	۱/۵۹	۲/۷۷
مرحله بذردهی							
شاخص / آماره مدل	تعداد نمونه اعتبار سنجی	خطای استاندارد پیش‌بینی	متوسط بین مقادیر حاصل از روش NIRS و روش مرجع	ضریب تعیین اعتبار سنجی	شیب از مبدأ اعتبار سنجی	عرض از مبدأ اعتبار سنجی	نسبت انحراف عملکرد اعتبار سنجی
ازت (N)	۴۵	۰/۱۸	۰/۰۰۰-	۰/۸	۰/۸۲	۰/۲	۳/۰۵
پروتئین خام (CP)	۴۵	۱/۱۶	۰/۰۰۳-	۰/۷۹	۰/۸۲	۱/۳۲	۲/۹۵
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)	۴۵	۳/۶	۰/۰۴۹	۰/۷۷	۰/۷۹	۱۰/۰۲	۲/۸۶
ماده خشک قابل هضم (DMD)	۴۵	۳/۲۴	۰/۰۲۰-	۰/۷۸	۰/۸	۹/۵	۲/۹۲
انرژی متابولیسمی (ME)	۴۵	۰/۵۳	۰/۰۰۴-	۰/۸	۰/۸۱	۱/۱۵	۳/۰۴

بحث و نتیجه‌گیری

طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) یک روش تحلیلی است که امکان تعیین سریع و هم‌زمان چندین مؤلفه را بدون نیاز به امر هزینه‌بر ایجاد نمونه، فراهم می‌کند (۲۶). از زمانی که اولین بار برای تجزیه و تحلیل محتوای روغن در ذرت و سویا به‌کار رفت (۱۶) به‌عنوان یک روش مناسب برای تجزیه و تحلیل غذاها به اثبات رسیده و توانایی قابل توجهی در تحلیل و پایش غذاها به‌منظور طبقه‌بندی ارزش غذایی آنها دارد (۱۸). این تکنولوژی سریع و دوست‌دار محیط‌زیست است و کاربرد گسترده‌ای در تحلیل غذاها از نظرمؤلفه‌های چربی، پروتئین، آب، کربوهیدارت و فیبر دارد (۱۹).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

آماره‌های مربوط به مدل‌های کالیبراسیونی در هر یک از شاخص‌های مورد نظر در مرحله رشد رویشی عبارتند از: R^2 و RMSECV برای N ۰/۸۲ (RMSECV: ۰/۰۶ درصد)، برای CP ۰/۸۱ (٪ ۰/۳۴)، برای ADF ۰/۸۱ (٪ ۰/۵۳)، برای DMD ۰/۸۱ (٪ ۰/۶۱) و برای ME ۰/۸۲ (٪ ۰/۱). بر اساس پژوهش صورت گرفته توسط پریتو و همکاران[1] (۲۰۱۴) در صورتی که مقدار RMSECV در مقایسه با SD بالا نباشد مدل کالیبراسیون ایجاد شده، مدل مناسبی خواهد بود. بر اساس جدول (۳) مقدار RMSECV برای هیچ از معادلات کالیبراسیونی بالاتر از SD نیست و تا حد زیادی نیز از آن کوچکتر است. بنابراین از نظر این آماره، کالیبراسیون‌های ایجاد شده در این پژوهش مدل‌های پیش‌بینی مناسبی هستند.

همچنین ویلیام (۲۰۰۸) بیان می‌کند مقادیر R^2 بین ۰/۶۶ تا ۰/۸۱ نشان دهنده پیش‌بینی‌های تقریبی توسط مدل خواهد بود در حالی‌که مقدار R^2 بین ۰/۸۲ تا ۰/۹ پیش‌بینی کمی مناسبی را ارائه می‌دهد. مقادیر R^2 بالاتر از ۰/۹۱ نیز نشان دهنده مدل‌های بسیار مناسب هستند. مقدار ضریب تشخیص برای تمام شاخص‌های این مرحله از رشد ۰/۸۱ تا ۰/۸۲ است که این نشان دهنده دقت نسبتا مناسب کالیبراسیون‌های ایجاد شده است.

در ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل بهتر است مقدار RPD برابر یا بزرگتر از دو باشد (۴۰ و ۴۱)، مقادیر کمتر از ۲ این آماره، هم می‌تواند نشان‌دهنده‌ی وسعت کم‌بازه اعداد مربوط به روش مرجع (انحراف معیارکم) باشد و هم نشان‌دهنده خطای بزرگ در پیش‌بینی‌های مدل (RMSECV) در مقایسه با انحراف معیار روش مرجع باشد (۳۷). در اکثر موارد کاربردِ NIRS برای محصولات کشاورزی، مقدار RPD بزرگتر از سه، به‌منظور اهداف تحلیلی کافیست (۴۰). مقدار این پارامتر برای همه کالیبراسیون‌های ایجاد شده در مرحله رویشی از ۳ بزرگتر است، این امر نشان می‌دهد که می‌توان از کالیبراسیون‌های PLS ایجاد شده برای مرحله رویشی، در تجزیه و تحلیل‌های معمول استفاده کرد.

آماره‌های مربوط به مدل‌های اعتبارسنجی برای هریک از شاخص‌های مورد نظر در مرحله رشد رویشی نیز عبارتند از: R^2 و SEP برای N ۰/۷۹ (SEP: ۰/۳۶ درصد)، برای CP ۰/۷۹ (٪ ۲/۲۹)، برای ADF ۰/۷۹ (٪ ۳/۳۸)، برای DMD ۰/۷۸ (٪ ۳/۴۷) و برای ME ۰/۷۹ (٪ ۰/۵۸). مقادیر PRD حاصل از اعتبارسنجی شاخص‌های مورد بررسی مرحله رویشی نیز از ۲/۴۴ تا ۲/۴۹ است که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی متوسط مدل‌های اعتبارسنجی است که این امر دقیقا مطابق با نتایج پژوهش ارزانی و همکاران (۲۰۱۲) است.

آماره‌های مربوط به مدل‌های کالیبراسیونی هریک از شاخص‌های مورد نظر برای مرحله گلدهی نیز عبارت است از: R^2 و RMSECV برای N ۰/۸۱ (RMSECV: ۰/۰۴ درصد)، برای CP ۰/۸۱ (٪ ۰/۴۴)، برای ADF ۰/۷۷ (٪ ۰/۷۳)، برای DMD ۰/۸۱ (٪ ۰/۶۷) و برای ME ۰/۸ (٪ ۰/۰۹). مقدار RMSECV برای هیچ از معادلات کالیبراسیونی بالاتر از SD نیست و تا حد زیادی نیز از آن کوچکتر است، بنابراین از نظر این آماره، کالیبراسیون‌های ایجاد شده در این پژوهش، مدل‌های پیش‌بینی مناسبی هستند.. همچنین مقدار ضریب تشخیص برای تمام شاخص‌های این مرحله از رشد ۰/۷۷ تا ۰/۸۱ است که این نشان دهنده پیش‌بینی‌های تقریبی توسط مدل خواهد بود اما با توجه به اینکه مقدار PRD برای همه کالیبراسیون‌های مرحله‌ی گلدهی نیز از ۳ بزرگتر است، این امر نشان می‌دهد که می‌توان از کالیبراسیون‌های PLS ایجاد شده برای مرحله گلدهی، در تجزیه و تحلیل‌های معمول استفاده کرد.

همچنین آماره‌های مربوط به مدل‌های اعتبار سنجی برای هریک از شاخص‌های مورد نظر در مرحله گلدهی شامل: R^2 و SEP برای N ۰/۷۹ (SEP: ۰/۲۳ درصد)، برای CP ۰/۷۷ (٪ ۱/۵۷)، برای ADF ۰/۷۴ (٪ ۳/۷۲)، برای DMD ۰/۷۹ (٪ ۳/۳۴) و برای ME ۰/۷۸ (٪ ۰/۵۷) است. مقادیر PRD حاصل در اعتبارسنجی شاخص‌های مورد بررسی مرحله گلدهی برای N ۳/۹۱ است که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی بالا توسط مدل اعتبارسنجی این شاخص است. برای چهار شاخص دیگر مقدار این آماره در این مرحله از رشد از ۲/۵۶ تا ۲/۹۲ متغیر است که دقت نسبتا

1. Prieto

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

خوب پیش‌بینی مدل‌های اعتبارسنجی برای این چهار شاخص را نشان می‌دهد و این امر مطابق با نتایج پژوهش ارزانی و همکاران (۸) است.

همچنین آماره‌های مدل‌های کالیبراسیونی هریک از شاخص‌های مورد نظر برای مرحله بذردهی در به شرح روبرو است: R^2 و RMSECV برای N ۰/۸۳ (RMSECV: ۰/۰۴ درصد)، برای CP ۰/۸۳ (۰/۳۴ ٪)، برای ADF ۰/۸۱ (۱/۰۹ ٪)، برای DMD ۰/۸۲ (۰/۹ ٪) و برای ME ۰/۸۲ (۰/۱۲ ٪) . بر اساس جدول ۳ مقدار RMSECV برای هیچ از معادلات کالیبراسیونی بالاتر از SD نیست و تا حد زیادی نیز از آن کوچکتر است، بنابراین از نظر این آماره، کالیبراسیون‌های ایجاد شده در این پژوهش مدل‌های پیش‌بینی مناسبی هستند.. مقدار ضریب تشخیص برای تمام شاخص‌های این مرحله از رشد از ۰/۸۲ بیشتر است که این نشان دهنده‌ی قابلیت پیش‌بینی خوب مدل خواهد بود. به‌علاوه با توجه به اینکه مقدار PRD برای همه کالیبراسیون‌های مرحله بذردهی نیز از ۳ بزرگتر است، این امر نشان می‌دهد که می‌توان از کالیبراسیون‌های PLS ایجاد شده برای مرحله بذردهی، در تجزیه و تحلیل‌های معمول استفاده کرد.

همچنین آماره‌های مربوط به مدل‌های اعتبار سنجی را برای هریک از شاخص‌های مورد نظر در مرحله بذردهی شامل: R^2 و SEP برای N ۰/۸ (SEP: ۰/۱۸ درصد)، برای CP ۰/۷۹ (۱/۱۶ ٪)، برای ADF ۰/۷۷ (۳/۶ ٪)، برای DMD ۰/۷۸ (۳/۲۴ ٪) و برای ME ۰/۸ (۰/۵۳ ٪) است. مقادیر PRD حاصل در اعتبارسنجی شاخص‌های مورد بررسی مرحله‌ی گلدهی برای N و ME به‌ترتیب ۳/۰۵ و ۳/۰۴ است که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی نسبتا بالا توسط مدل اعتبارسنجی این دو شاخص است. برای سه شاخص دیگر مقدار این آماره در این مرحله از رشد از ۲/۸۶ تا ۲/۹۵ متغیر است که دقت نسبتا مناسب پیش‌بینی مدل‌های اعتبارسنجی برای این سه شاخص را نشان می‌دهد که این امر دقیقا با نتایج پژوهش ارزانی و همکاران (۲۰۱۲) است.

از پژوهش حاضر، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که روش NIRS به‌ترتیب در برآورد شاخص‌های N و CP در مقایسه با سایر شاخص‌ها، کارآیی بهتری دارد که این امر مطابق با نتایج تحقیقات نوریس و همکاران (۱۹۷۶)، احمدی (۲۰۰۳)، گاریکا و کازولینو (۲۰۰۶) و چاره ساز (۲۰۱۱) است. ضمن اینکه می‌توان نتیجه گرفت به‌طورکلی در برآورد شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، از دقت قابل قبولی برخوردار است که این امر نیز با نتایج حاصل از پژوهش نوریس (۱۹۷۶)، موری (۱۹۹۳)، گاریدو (۱۹۹۷)، دیویل و فلین (۲۰۰۰)، رابرتز (۲۰۰۴)، کازولینو (۲۰۰۱ و ۲۰۰۳)، چاره ساز و همکاران (۲۰۱۱)، ارزانی و همکاران (۲۰۱۲)، تطابق دارد. بنابراین براساس نتایج حاصل، کالیبراسیون‌های ایجاد شده در مرحله رویشی مختلف از دقت بالایی برخوردار و قابل بهره‌برداری هستند و می‌توان نمونه‌های کیفیت علوفه گیاهان فرم رویشی فورب را به‌منظور برآورد شاخص‌های مذکور، توسط کالیبراسیون‌های ایجاد شده با روش طیف سنجی NIRS مورد تجزیه و تحلیل قرار داد اما باید توجه داشت که دقت پیش‌بینی حاصل از کالیبراسیون‌های ایجاد شده توسط این روش (بر اساس مقادیر PRD اعتبار سنجی) برای برخی شاخص‌های مورد بررسی در مراحل مختلف رشد، اندکی پایین‌تر از حد کافی برای اهداف تحلیلی است همانطور که توسط ارزانی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

References

1. Ahmadi, A., 2003. Investigating forage quality of some rangeland species in different phenological stages through laboratory methods and NIR. M.Sc. thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian).
2. Alomar, D., R. Fuchslocher & J. Stockebrands, 1999. Effect of ovenor freeze- drying on chemical composition and NIR spectra of pasture silage. Animal Feed Science and Technology, 80: 309-319.
3. AOAC, 1995. Official methods of analysis (15th ed). Association of Official Analytical Chemists. Inc., Arlington, USA, Vol 2, 600p.
4. Arzani, H., 1994. Some aspects of estimating short term and long term rangeland carrying capacity in the western division of New South Wals. Ph.D. thesis. University of New South Wales, Australia.
5. Arzani, H., M. Basiri, F. Khatibi & G. Ghorbani, 2006. Nutritive valueof some zagros mountain rangeland species. Small Ruminant Research, 65: 128-135. (In Persian).
6. Arzani, H., 2009. Forage quality and daily requirement of grazing livestocks. University of Tehran Press. 354p. (In Persian).
7. Arzani, H., J. Motamedi & Zare M.A. Chahouki, 2011. Forage quality of Iranian rangeland species. Forest, Rangeland and Watershed Management Organization and University of Tehran, 234p. (In Persian).
8. Arzani, H., A. Sour & J. Motamedi, (2012). Potential of NIRS to predict nutrient composition of *Bromus tomentellus* .Rangeland Science, 2(4): 635- 642.
9. Charesaz, N., 2011. Prediction of forage quality parameters in some range species by near infrared reflectance spectroscopy. Watershed Management Research, 94: 45-54. (In Persian).
10. Cozzolino, D., Y. Acosta & J. Garcia, 2001. Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage evaluation in Uruguay. Retrieved December from http://www.internationalgrasslands.org.
11. Cozzolino, D., H. E. Smyth & M. Gishen, 2003. Feasibility study on the use of visible and near infrared spectroscopy together with chemometrics to discriminate between commercial white wines of different varietal origins. Agricultural and Food. Chemistry, 51: 7703-7708.
12. Deaville, G.D. & P. C. Flinn, 2000. Near infrared spectroscopy: an alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. In: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition (Eds D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Oxford & H. M. Omed), CABI publishing, Wallingford, UK. 301-320.
13. Decruyenaere, V., PH. Lecomte, C. Demarquilly, J. Aufrere, P. Dardenne, D. Stilmant & A. Buldgen, 2009. Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. Animal Feed Science and Technology, 148: 138-156.
14. Garrido, A., 1997. Current and future applications of NIRS technology. *Current and future applications of NIRS technology in the feed industry*, 26, 87-92.
15. Garcia, I. & D.Cozzolino, 2006 Use of near infrared reflectance (NIR) Spectroscopy to predict chemical composition of forages in Brood-based calibration models, Agricultural Technigue, Jan-Mar. 66: 41-47.
16. Hymowitz, T., J. Dudley, W., Collins & C. M. Brown, 1974. Estimations of protein and oil concentration in corn, soybean, and oat seed by near-infrared light reflectance. Crop Science, 14: 713–715.
17. Jafari, A., 2001. Investigating capability of NIR for predicting digestibility of forage grasses. Proceedings of third conference of Animals and Birds Nutrition Researches, Animal Science Institute Press, 55- 63. (In Persian).
18. Kays, S.E. & F.E. Barton, 2002. Rapid prediction of gross energy and utilizable energy in cereal food products using near-infrared reflectance spectroscopy. Agricultural and Food Chemistry, 50:1284–1289.
19. Kim, Y., M. Singh & S.E. Kays, 2007. Near-infrared spectroscopic analysis of macronutrientsand energy in homogenized meals, *Food Chemistry*, 105: 1248–1255.
20. Low, S.G. & C.L. Andrews, 1987. A service for estimating the nutritive value of forage. Departmen of Agriculture, Nutrition and Feed Evaluation Unit, Glen field, NSW 2167: 423- 425.
21. Martens, M. & H. Martens, 1986. Partial least squares regression. In J. R. Piggott (Ed.), Statistical procedures in food research London, UK: Elsevier Applied Science. 6: 293–359.
22. Martens, H. & T. Naes, 1989. Assessment, validation and choice of calibration method. In Multivariate calibration New York: John Wiley & Sons. 7: 237–266.
23. Murray, I., 1986. Near infrared reflectance analysis of forages. In Haresign, W., Cole, D. J. A. (Eds) Recent Advances in Animal Nutrition. Studies in the Agricultural and Food Sciences. Butterworths, UK. 141-156.
24. Murray, I., 1993. Forage analysis by Near Infrared Spectroscopy. In: Davies, A., Baker, R. D., Grant, S. A., Laidlaw, A. S. (Eds), Sward Management Handbook. British grassland society, UK. 285-312.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]

25. Norris, K.H., R.F. Barnes, J.E. Moore & J.S. Shenk, 1976. Predicting forage quality by near infrared reflectance spectroscopy. Anim. Sci. 43: 889 – 897.
26. Norris, K.H., 1989. Definition of NIRS analysis. In G.C. Marten, J. S. Shenk, & F. E. Barton II. (Eds.), Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Analysis of forage quality, USDA-ARS Agriculture Handbook no. 643 (p. 6). Washington, DC: USDA.
27. Nousiainen, J., S. Ahvenjärvi, M. Rinne, M. Hellämäki & P. Huhtanen, 2004. Prediction of indigestible cell wall fraction of grasssilage by near infrared reflectance spectroscopy. Animal Feed Science and Technology, 115: 295- 311.
28. Oddy, V.H., G.E. Robards & S.G. Low, 1983. Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fiber nitrogen content of feed. In:Robards,G. E., Packham, R. G (Eds.), feed information animal production. Common wealth agricultural bureaux. farnahm royal, UK. 395-398.
29. Pojic, M., J. Mastilovic, D. Palic & M. Pestoric, 2010. The development of near-infrared spectroscopy (NIRS) calibration for prediction of ash content in legumes on the basis of two different reference methods. Food Chemistry, 123:800- 805.
30. Prieto, N., M.E.R. Dugan, O. López-Campos, T.A. McAllister, J.L. Aalhus & B., Uttaro, 2014. Near infrared reflectance spectroscopy predicts the content of polyunsaturated fatty acids and biohydrogenation products in the subcutaneous fat of beef cows fed flaxseed. Retrieved January 8, 2014, from www.aaccnet.org › AACCnet › PUBLICATIONS
31. Roberts, C.A., J.W. Stuth, & P. Flinn, 2004. Analysis of forages and feedstuffs. In: Roberts, C, A. Workman, and J. B. Reeves (eds.) Journal of Near infra-spectroscopy in agriculture. Agron. Mongor. 321. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 231-269.
32. Savitzky, A. & M.J.E. Golay, 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. Analytical Chemistry, 36,1627–1639
33. SCA (Standing Committee on Agriculture), 1990. Feeding Standards for Australian Livestock Ruminants, CSIRO, Australia.
34. Shenk, J.S., M.O. Westerhaus & M.R. Hoover, 1979. Analysis of forage by near infrared reflectance. Dairy Sci, 62:807–812.
35. Soest, P.J.V., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. Association Official Agriculture Chemistry, 46: 829- 835.
36. Stoddart, L.A., A.D. Smith & T.W. Box, 1975. Range Management. (3th ed.), MCG raw Hill Book Company, USA. 532p.
37. Tøgersen, G., J.F. Arnesen, B.N. Nielsen & K.I. Hildrum, 2003. Online prediction of chemical composition of semi frozen ground beef by non-invasive NIR spectroscopy. Meat Science, 63: 515–523.
38. Volkers, K.C., M. Wachendorf, R. Loges, N.J. Jovanovic & F. Taube, 2003. Prediction of the quality of forage maize by near-infrared reflectance spectroscopy. Animal Feed Science and Technology, 109: 183–194.
39. Westerhaus, M., J.J., Workman, J.B., Reeves III & H. Mark, 2004. Quantitative analysis. In C. A. Roberts, J. Workman, & J. B. Reeves III (Eds.), Near-infrared Spectroscopy in Agriculture. Madison, USA: American Society of Agronomy Inc. 133-174.
40. Williams, P.C., 2001. Implementation of Near-Infrared Technology. In P. C. Williams, & K. Norris (Eds.), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries* (2nd ed.) (p.143). St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists.
41. Williams, P.C., 2008. *Near-Infrared Technology - Getting the Best Out of the Light. A Short Course in the Practical Implementation of Near Infrared Spectroscopy for User.* Nanaimo, Canada: PDK Projects, Inc.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.1.4]