نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۹۳-۱۸۴

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 184-193

توسعه یک سامانه مزرعه‌ای پایش عملکرد کمّی و تعیین برخی از خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه با استفاده از انرژی برشی و فشردگی محصول

محمد مهدی مهارلویی[۱] - محمد لغوی[۲*] - سید مهدی نصیری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

کشاورزی دقیق همواره به‌دنبال بیان علل و عوامل وجود تغییرات و اتخاذ تصمیمات مناسب در مزرعه است. یکی از زمینه‌های مورد تحقیق در سه دهه اخیر ارائه راه‌کارهایی برای تهیه نقشه‌های تغییرپذیری عملکرد کمّی محصول بوده است. در این پژوهش با توجه به اهمیت تهیه این نقشه‌ها تلاش شد تا با اندازه‌گیری پیوسته ضخامت لایه علوفه افزوده شده در هر مرحله از پرس علوفه در حین عملیات بسته بندی به‌وسیله یک چرخ ستاره‌ای جدید و تلفیق آن با داده‌های موقعیت مکانی دستگاه بیلر که از سامانه مکان‌یابی جهانی دریافت می‌شد، نقشه عملکرد محصول ترسیم شود. همچنین پژوهشگران پیشگام در علم کشاورزی دقیق توجه به شاخص‌های کیفیت محصول و مطالعه عوامل تأثیرگذار بر آن را نیز با اهمیت می‌دانند. بدین منظور تلاش شد تا در این تحقیق، علاوه بر نقشه عملکرد، روشی غیر مخرب و بلادرنگ برای تخمین برخی از شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه در مزرعه ارائه و ارزیابی شود. بدین منظور اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه وارد بر تیغه و انرژی فشردگی ویژه در سر پلانجر یک دستگاه بیلر در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آنالیز رگرسیون و آزمون همبستگی سامانه اندازه‌گیری عملکرد کمّی، رابطه خطی بسیار خوب روش پیشنهادی با جرم محصول را نشان داد ($r=$ ۰/۹۶ و $R^2=$ ۰/۹۲). نتایج استفاده از انرژی برشی ویژه در تخمین شاخص‌های فیبر خام و شاخص تجمعی RFV با توجه به شرایط مزرعه‌ای نتایج قابل قبولی داشت. استفاده از انرژی فشردگی ویژه تنها در تخمین شاخص ماده خشک مناسب بود. هیچ یک از دو روش پیشنهادی اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه و انرژی فشردگی ویژه، نتوانست شاخص تغذیه‌ای پروتئین خام را تخمین بزند. مطالعات بیشتر در شرایط وسیع‌تری از تغییرات شاخص‌های کیفیت و رقم‌های یونجه پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای، عملکرد کمّی، کشاورزی دقیق، یونجه

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت کره زمین در سه دهه اخیر لزوم افزایش تولید مواد غذایی و بالطبع محصولات کشاورزی را در جهان بیش از پیش نمایان ساخته است. افزایش تولید محصول می‌تواند از طریق افزایش سطح زیر کشت، استفاده از ارقام پربازده یا افزایش عملکرد در واحد سطح انجام شود. افزایش سطح زیر کشت به‌دلیل شرایط اقلیمی، عدم حاصلخیزی و تغییر کاربری اراضی عملاً قابل انجام نیست. اصلاح و تهیه ارقام پر بازده هم نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است. از این رو دستیابی به حداکثر عملکرد بالقوه محصول در واحد سطح یکی از راه‌کارهایی است که امروزه مورد توجه متخصصین قرار گرفته است. پیشرفت علم الکترونیک در سه دهه اخیر شاخه جدیدی را در کشاورزی به نام کشاورزی دقیق[۴] ایجاد نمود. این علم با بهره‌گیری از فن‌آوری اطلاعات امکان تهیه داده‌های مربوط به عملکرد کمّی محصول را در جای‌جای مزرعه در اختیار تولید کننده قرار می‌دهد. شناسایی نقاط کم بازده مزرعه و تفسیر نقشه‌های تولید شده از این داده‌ها، امکان اجرای مدیریت خاص مکانی[۵] در کاربرد نهاده را فراهم می‌آورد که هم از لحاظ ملاحظات زیست محیطی و هم افزایش درآمد تولید کننده سودمند است. تحقیقات بسیاری در زمینه پایش عملکرد کمّی محصول برای محصولات دانه‌ای انجام شده و سامانه‌هایی جهت نصب بر روی کمباین‌های برداشت غلات توسط شرکت‌های معتبر ارائه شده است. به‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد محصولات غیر دانه‌ای و

۱- دانشجوی دکترای گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: (Email: loghavi@shirazu.ac.ir
۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

4- Precision agriculture
5- Site-specific crop management

Archive of SID
www.SID.ir

علوفه‌ای نیز انجام شده است هنوز سامانه‌ای به‌صورت تجاری ارائه نشده است (Loghavi, 2003; Maharlouie *et al.,* 2013). نکته قابل اهمیت دیگری که امروزه در بازار رقابتی برای تولید کنندگان اهمیت دارد، افزایش کیفیت محصول به‌منظور افزایش بازارپسندی است. بلکمور (۱۹۹۶) بیان می‌دارد اگرچه در ابتدا تصور می‌شد که تنها نتیجه حاصل از کاربرد مدیریت خاص مکانی و کشاورزی دقیق افزایش مقدار کمّیت است اما امروزه مشخص شده که تأثیر این فناوری بر کیفیت بیشتر است و مدیریت کیفیت نیز می‌تواند در این علم مورد بررسی قرار گیرد (Blackmore, 1996). کیفیت‌سنجی و انجام آزمون‌های غیرمخرب در محصولات باغی اهمیت زیادی دارد و پژوهشگران در حال توسعه روش‌های سنجش کیفیت در این محصولات هستند (Gemtos, 2009). آمارهای خرید و فروش محصولات علوفه‌ای در ایالات متحده آمریکا نیز نشان می‌دهد شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای این محصولات نقش مهمی در قیمت‌گذاری این محصول دارند (Ball *et al.,* 2001). بنابراین، یافتن راه‌کارهایی جهت اندازه‌گیری بی‌درنگ شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای در مزرعه، در راستای نیل به اهداف کشاورزی دقیق از طریق مدیریت نهاده‌ها و رسیدن به محصول با کیفیت‌تر می‌تواند حائز اهمیت باشد.

مروری بر شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای در محصولات علوفه‌ای

به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه، شاخص‌هایی وجود دارد که عموماً در آزمایشگاه و به‌صورت آزمون‌های شیمیایی یا طیف نگاری اندازه‌گیری می‌شوند. برخی از مهم‌ترین شاخص‌های عنوان شده عبارت است از (Ball *et al.,* 2001):

۱- ماده خشک[1] (DM): به‌صورت وزنی از ماده علوفه‌ای خشک باقی‌مانده پس از رطوبت‌گیری محصول علوفه‌ای تازه بیان می‌شود.

۲- پروتئین خام[2] (CP): شاخصی است متشکل از میزان پروتئین حقیقی و بخش غیر پروتئینی نیتروژن موجود در علوفه که با اندازه‌گیری مقدار نیتروژن موجود در گیاه علوفه‌ای محاسبه می‌شود.

۳- شاخص ADF[3]: این شاخص بیشتر برای تخمین قابلیت هضم علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. آمار فروش محصول یونجه در کالیفرنیا در طول ۵ سال نشان داد با کاهش درصد این شاخص از ۳۵٪ به ۲۷٪ (بهبود کیفیت) قیمت آن در سال‌های مختلف بین ۱/۵ تا ۲ برابر افزایش یافته است (Ball *et al.,* 2001).

۴- شاخص NDF[4]: شاخصی است از مقدار دیواره سلولی موجود در علوفه که شامل همی سلولز[5] و اجزاء شاخص ADF می‌باشد. این شاخص نیز نشان دهنده میزان هضم پذیری علوفه توسط دام است. به‌طور کلی هر چه میزان این شاخص در علوفه‌ای کمتر باشد توانایی هضم و گوارش علوفه برای دام ساده‌تر است.

۵- شاخص ماده خشک مصرفی[6] (DMI): بر اساس شاخص NDF بیان می‌گردد. مطالعات نشان داده است که با افزایش شاخص NDF دام علاقه کمتری به مصرف علوفه نشان می‌دهد.

۶- شاخص ماده خشک قابل هضم[7] (DDM): شاخصی است محاسباتی که بر اساس شاخصADF تعیین می‌گردد. این شاخص در محاسبه شاخص RFV[8] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- شاخص RFV: شاخصی است که اثرات تغذیه‌ای ADF و NDF را با هم در نظر می‌گیرد و در نهایت این اثرات تجمعی را به‌صورت یک عدد نمایش می‌دهد. این شاخص در تعیین کیفیت علوفه در بازار و تعیین قیمت نهایی نقش به‌سزایی دارد. آمارهای خرید و فروش محصولات علوفه‌ای در آمریکا نشان داد که با افزایش این شاخص، از ۷۵ واحد به ۱۵۰واحد، قیمت پرداختی بابت هر تن علوفه از ۵۰ دلار به بیش از ۱۶۰ دلار رسیده است (Ball *et al.,* 2001).

تحقیقات انجام شده در زمینه کیفیت‌سنجی محصولات علوفه‌ای بیشتر بر اساس روش‌های سنجش از دور و استفاده از روش‌های مبتنی بر طیف سنجی متمرکز بوده است. علی‌رغم نتایج بسیار خوب به‌دست آمده در این روش‌ها (Haung *et al.,* 2008)، به‌دلیل مشکلات به‌کارگیری در شرایط مزرعه‌ای و بی‌درنگ از یک سو و از سوی دیگر استفاده در کشورهای در حال توسعه به‌دلیل ضعف در زیر ساختارهای فناوری اطلاعات، امکان استفاده از این روش‌ها را عملاً غیر ممکن نموده است.

تحقیقات دیگری در زمینه استفاده از ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی گیاه به‌منظور تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول صورت گرفته که نشان می‌دهد استفاده از این روش در شرایط کنترل شده در تخمین برخی خصوصیات کیفیتی امکان‌پذیر است (Mir *et al.,* 1995; Iwaasa *et al.,*1996; Chen *et al.,* 2007; Liu *et al.,* 2009).

در این تحقیقات مقاومت برشی گیاه به‌عنوان یک شاخصه از ترکیبات شیمیایی درونی گیاه و خصوصیات کیفی محصول مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تحقیقی مقاومت برشی ساقه گیاهان

1- Dry matter
2- Crude protein
3- Acid detergent fiber

4- Neutral detergent fiber
5- Hemi cellulose
6- Dry matter intake
7- Digestible dry matter
8- Relative feed value

Archive of SID

www.SID.ir

مختلف علوفه‌ای به‌منظور یافتن رابطه‌ای بر اساس روش رگرسیون چند متغیره جهت تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای (پروتئین خام، ADF و NDF) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج تحلیل رگرسیون رابطه مناسبی را نشان داد (Mir *et al.,* 1995). در تحقیقی مشابه نیروی برشی ۲۴ رقم محصول علوفه‌ای که در شرایط کنترل شده خشک شده بودند اندازه‌گیری و مشخص گردید مقدار این نیرو در واریته‌های مختلف متفاوت است، ولی محل برش تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیروی برشی ندارد. آنان تغییرات مقدار نیروی برشی را به قطر ساقه، دانسیته خطی، وزن ساقه و به‌صورت ضعیف‌تر به خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای مانند پروتئین خام و ADF ساقه مرتبط دانستند (Iwaasa *et al.,* 1996). تحقیقات مشابه دیگری توسط محققین دیگر نیز صورت گرفته است که استفاده از روش اندازه‌گیری نیروی برشی در شرایط کنترل شده و استاندارد سازی شده آزمایشگاهی را در تخمین خصوصیات کیفی علوفه مانند ADF، NDF و RFV که مرتبط با مقدار لیگنین و همی‌سلولز است امکان‌پذیر دانسته‌اند (Herrero *et al.,* 2001).

چن و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر مرحله بلوغ گیاه ذرت علوفه‌ای بر تغییرات نیروی برشی ساقه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق دو نوع تغییر پذیری را در نیروی برشی نشان داد. اولین تغییر پذیری مربوط به بلوغ گیاه بود که نیروی برشی با افزایش طول دوره بلوغ افزایش نشان داد. دومین تغییر پذیری که در ساقه‌های برداشت شده در یک تاریخ یکسان وجود داشت مربوط به قسمت‌های مختلف ساقه بود. در این میان قسمت زیرین ساقه بیشترین نیروی برشی را نشان داد که این تغییر پذیری وابسته به درصد سلولز، شرایط دیواره سلولی ساقه و مقدار لیگنین بود. این محققین با توجه به سادگی اندازه‌گیری نیروی برشی این روش را جهت تخمین ارزش کیفی گیاه علوفه‌ای مفید دانستند (Chen *et al.,* 2007).

در مورد گیاه علوفه‌ای یونجه نیز تحقیقات مشابهی صورت گرفته است که روش اندازه‌گیری نیروی برشی را راه‌کاری مناسب برای آزمون بی‌درنگ و غیر مخرب برای تخمین خصوصیات کیفی معرفی کرده است (Liu *et al.,* 2009). در این تحقیق، برخی خصوصیات فیزیکی و شاخص‌های کیفی مربوط به هضم ساقه چاودار و یونجه اندازه‌گیری گردید. نتایج این مطالعه نشان داد تغییر در مقدار نیروی برشی لازم برای هر دو نوع گیاه می‌تواند به‌وسیله خصوصیات شیمیایی ساقه توضیح داده شود. در مورد گیاه یونجه روابط یاد شده همبستگی قابل قبولی با خصوصیات شیمیایی و دیواره سلولی گیاه داشت. بنابراین استفاده از روش اندازه‌گیری نیروی برشی می‌تواند به‌عنوان روشی جایگزین در تخمین بی‌درنگ و غیرمخرب کیفیت و ترکیبات شیمیایی ساقه مورد استفاده قرار گیرد.

با جمع‌بندی آنچه بیان شد و با توجه به اهمیت محصول یونجه در ایران به‌عنوان منبع اصلی تأمین پروتئین در جیره غذایی دام و توصیه محققین پیشگام که مدیریت کیفیت محصول را از اصول اساسی کشاورزی دقیق دانسته‌اند (Blackmore, 1996; Gemtos, 2009)، لزوم تهیه نقشه‌های تغییر پذیری کیفیت محصول به‌صورت بی‌درنگ در مزرعه وجود دارد. لذا در ادامه و تکمیل پژوهش‌های مورد اشاره و در راستای گسترش مرزهای دانش در زمینه مدیریت کیفیت محصولات علوفه‌ای، تحقیق حاضر به اجرا گذاشته شد. بدین منظور با توجه به تحقیقات مرور شده (Mir *et al.,* 1995; Iwaasa *et al.,* 1996; Chen *et al.,* 2007; Liu *et al.,* 2009) و با توجه به نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی که در آن‌ها همبستگی بین نیروی برشی و خصوصیات کیفی مورد تحقیق قرار گرفته بود، این روش به‌عنوان مبنای این پژوهش مناسب تشخیص داده شد. در این راستا سامانه‌ای جهت اندازه‌گیری انرژی برشی و فشردگی ویژه در مزرعه در حین عملیات بسته بندی ساخته شد. همچنین در این پژوهش تلاش گردید تا علاوه بر ساخت و ارزیابی سامانه اندازه‌گیری خصوصیات کیفی، سامانه‌ای جهت تهیه نقشه عملکرد کمّی محصول یونجه نیز ساخته شود تا اطلاعات مربوط به کمّیت و کیفیت محصول به‌طور توأمان در مزرعه اندازه‌گیری شود.

مواد و روش‌ها

ساخت و نصب قطعات مکانیکی

به‌منظور اندازه‌گیری انرژی برشی و فشاری در حین فرآیند بسته‌بندی، سلول‌های بارسنج به‌ترتیب روی چاقوی ثابت ماشین و شاتون متصل به پلانجر مطابق آنچه در طرحواره شکل ۱ دیده می‌شود، روی ماشین نصب گردید.

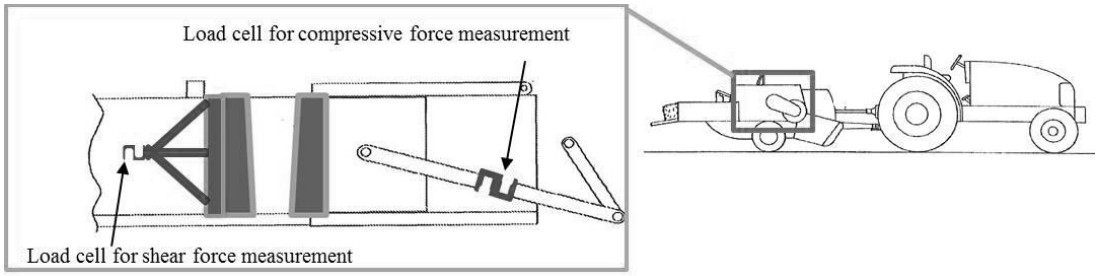
برای اندازه‌گیری نیروی برشی ساقه، چاقوی ثابت از شاسی ماشین بسته بند جان دیر (John Deere 348) مجزا شد و با کمک یک قاب مثلثی شکل به یک سلول بار سنج (Revere™, 250 kg, RO 3mV V^{-1}[1]) متصل شد (شکل‌های ۱ و ۲ a). در این شرایط نیروی وارد بر علوفه در حین برش به‌وسیله چاقوی متحرک پلانجر و چاقوی ثابت اندازه‌گیری می‌شود. به‌منظور جلوگیری از تأثیر گشتاور خمشی این نیرو بر دقت سلول بارسنج از غلتک‌های غیر اصطکاکی استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری انرژی فشاری پلانجر در حین بسته بندی از روش به‌کار گرفته شده توسط هوشمند (۲۰۱۳) استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲ b). در این روش یک سلول بار سنج (ZEMIC™, 5000 kg, R.O. 2.992 mV V^{-1}) بر روی شاتون نصب شد و مؤلفه نیرو در راستای حرکت پلانجر برای محاسبه انرژی فشاری مورد استفاده قرار گرفت.

1- Rated output

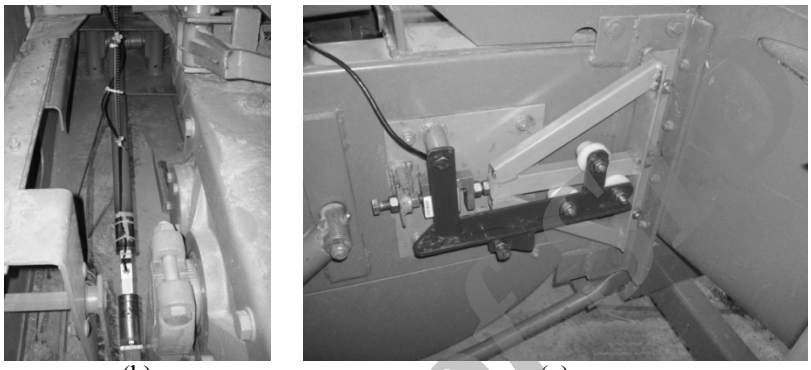
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- نمای طرحواره محل قرارگیری سامانه‌های اندازه‌گیری روی ماشین بسته بند

Fig.1. Schematic view of measurement systems on baler



(b) (a)

شکل ۲- سامانه‌های ساخته شده برای اندازه‌گیری نیروی؛ (a) برشی روی چاقوی ثابت، (b) نیروی فشردگی سر پلانجر

Fig.2. Manufactured mechanical systems to measure; (a) Shear force on knife blade, (b) Compressive force on plunger head

تحقیقات مرور شده توسط سیرواستاوا و همکاران (۲۰۰۶) براساس پژوهش‌های گراهام و همکاران (۱۹۵۳) روی نحوه کار ماشین بسته بند نشان داد که اندازه‌گیری انرژی برشی صرف شده برای برش علوفه توسط پلانجر تحت تأثیر جریان جرمی محصول و محتوای رطوبتی محصول است (Srivastava *et al.*, 2006; Geraham *et al.*, 1953). برای تعیین خصوصیات کیفی توسط این روش لازم بود تا اثر عوامل یاد شده حذف و نیروی اندازه‌گیری شده استاندارد سازی می‌شد. به‌منظور حذف اثر رطوبت از نتایج تحقیق نظری‌گله‌دار (۲۰۰۸) که رابطه تغییرات نیروی برشی در درصدهای مختلف رطوبت یونجه را محاسبه کرده بودند، استفاده گردید.

جهت حذف اثر جریان جرمی بر نیروی برشی، روش احمدی و همکاران (۲۰۱۰) که از چرخ ستاره‌ای متصل به سیستم گره زن برای اندازه‌گیری جریان جرمی استفاده کرده بودند، با انجام تغییراتی مبنا قرار گرفت. بدین منظور یک چرخ ستاره‌ای جدید در پشت چرخ ستاره‌ای واحد گره‌زن نصب گردید و محور آن به یک کد کننده نوری افزایشی کوپل شد (شکل ۳ a). میزان چرخش زاویه‌ای چرخ ستاره‌ای متناسب با ضخامت لایه پرس شده در هر بار انجام عملیات پرس توسط پلانجر می‌باشد. دلیل استفاده از چرخ ستاره‌ای جدید در این تحقیق نسبت به روش احمدی و همکاران (۲۰۱۰)، اصطکاک زیاد چرخ ستاره‌ای راه انداز واحد گره‌زنی و لغزش آن بر روی بسته در حال تشکیل است که در این تحقیق این نقیصه با نصب چرخ ستاره‌ای دوم (شکل ۳ a) برطرف شده است.

برای محاسبه انرژی برشی و فشردگی باید جابه‌جایی خطی پلانجر نیز اندازه‌گیری می‌شد. بدین منظور از یک کد کننده نوری افزایشی در مرکز فلایویل استفاده شد (شکل ۳ b). برای تبدیل جابه‌جایی دوران زاویه‌ای به جابه‌جایی خطی از روابط هندسی اجزای پلانجر که توسط سیرواستاوا و همکاران (۲۰۰۶) بیان شده است، استفاده گردید.

مدار الکترونیکی و نرم افزار داده برداری

برای دریافت داده‌های سلول‌های بارسنج و کد کننده‌های نوری افزایشی و انجام پردازش بر روی داده‌ها و در نهایت ارسال و ذخیره‌سازی در رایانه قابل حمل، از یک مدار الکترونیکی استفاده گردید (شکل ۴). برای سهولت داده برداری و کنترل بهتر کاربر بر عملیات داده برداری، یک نرم افزار کاربر پسند نیز تحت زبان برنامه‌نویسی C++ نوشته شد.

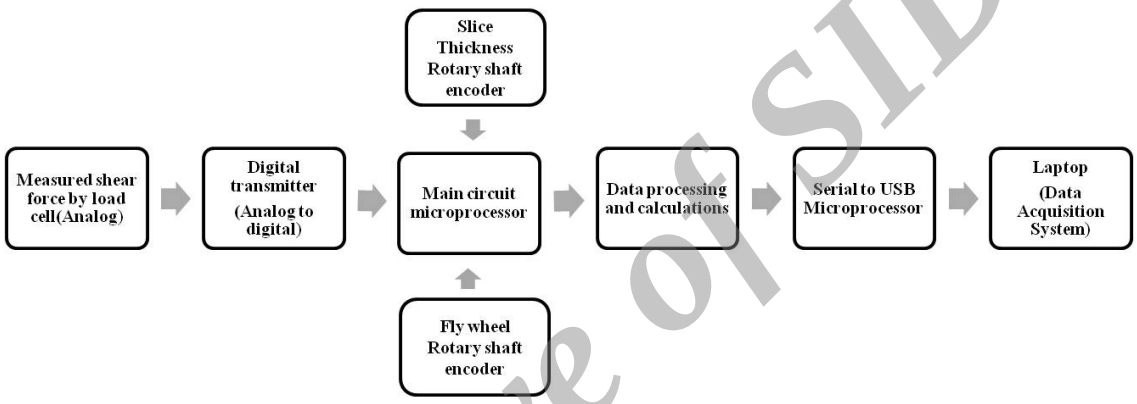
Archive of SID

www.SID.ir

(b) (a)

شکل ۳– سامانه‌های اندازه‌گیری؛ (a) ضخامت لایه افزوده در هر مرحله پرس، (b) سرعت خطی پلانجر

Fig.3. Measurement systems for measuring; (a) Added forage slice in each press cycle, (b) Plunger linear speed



شکل ٤– نمودار عملکردی سامانه الکترونیکی داده برداری و ذخیره سازی

Fig.4. Operational diagram of electronic data acquisition system

آزمون مزرعه‌ای

به‌منظور ارزیابی سامانه ساخته شده، چهار مزرعه نمونه کشت یونجه رقم همدانی در مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انتخاب گردید. مزارع انتخابی یک ساله، دو ساله، سه ساله و پنج ساله بودند و چین‌های سوم و پنجم سال زراعی ۹۱ در ماه‌های مرداد و مهر برای داده برداری انتخاب گردید. دلیل انتخاب این مزارع و چین‌ها، تأثیر چرخه رشد سالیانه و درجه روز دریافتی بر خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای بود که در منابع به آن‌ها اشاره شده بود (Ball *et al.*, 2001). با توجه به شرایط مزارع انتخابی (۴ مزرعه) و چین‌های برداشت شده (۲ چین)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد و طرح آماری کرت‌های خرد شده در زمان، برای تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Yazdi Samadi *et al.*, 2011).

به‌منظور تعیین مقدار عددی شاخص‌های کیفی در این مزارع و چین‌های یاد شده و یافتن رابطه آن‌ها (در صورت وجود) با تغییرات انرژی برشی و فشاری اندازه‌گیری شده، نمونه‌هایی از بسته‌های آماده شده توسط ماشین بسته بند، انتخاب و با روش‌های مرسوم آزمایشگاهی AOAC[1] کیفیت سنجی شد (Undersander *et al.*, 1993). این داده‌ها، سپس با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری انرژی برشی و فشاری ویژه در مزرعه، مقایسه و تحلیل شد.

نقشه پایش عملکرد کمی محصول هم با استفاده از روش اصلاح شده احمدی و همکاران (۲۰۱۰)، که در بخش قبل برای اندازه‌گیری ضخامت لایه علوفه افزوده در هر مرحله پرس شرح داده شد، تهیه گردید. در این روش ابتدا می‌بایست همبستگی بین ضخامت لایه‌های افزوده شده در هر مرحله پرس در حین فرآیند تشکیل بسته با جرم محصول ردیف شده تعیین شود؛ بدین منظور در مزرعه قسمت‌هایی از محصول ردیف شده قبل از انجام عملیات بسته بندی به‌صورت تصادفی انتخاب و توزین شد و این نقاط از مزرعه به‌وسیله سامانه مکان‌یابی جهانی علامت گذاری شد. پس از این مرحله توزین، با حرکت ماشین بسته بند مجهز به سامانه مکان‌یابی در مزرعه و تلفیق

1- Association of official analytical chemists

Archive of SID

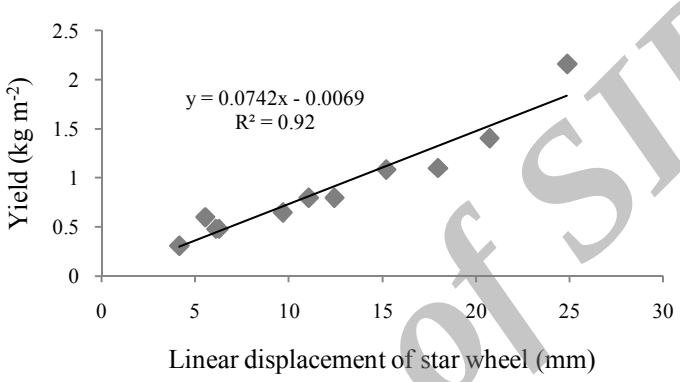
www.SID.ir

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های افزوده شده در هر مرحله پرس و داده‌های مکانی و زمین مرجع سازی این داده‌ها با داده‌های توزین تصادفی، رابطه رگرسیونی بین تغییرات ضخامت لایه افزوده و جرم محصول ردیف شده تعیین گردید. با تعیین این رابطه رگرسیونی می‌توان در مزرعه با اندازه‌گیری پیوسته ضخامت لایه علوفه افزوده از طریق اندازه‌گیری مقدار دوران چرخ ستاره‌ای جدید، جرم محصول برای ترسیم نقشه پایش عملکرد کمّی را به‌دست آورد.

نتایج و بحث

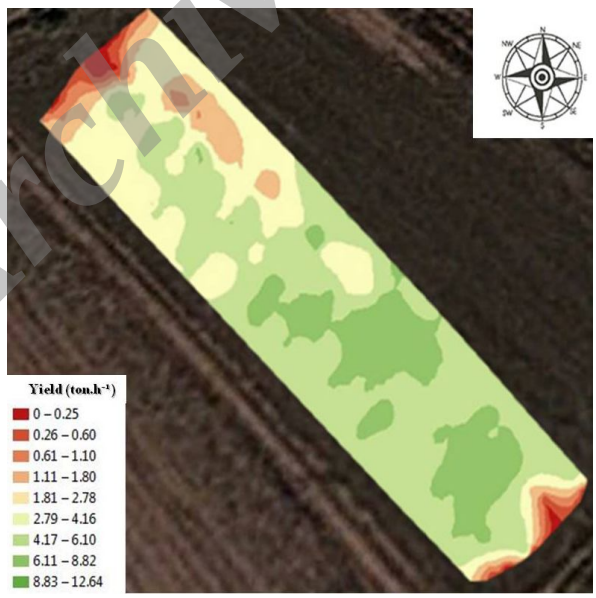
آشکار سازی عملکرد کمّی محصول

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد با زمین مرجع نمودن داده‌های مربوط به ضخامت لایه افزوده از سامانه داده برداری و داده‌های حاصل از توزین محصول با کمک سامانه مکان‌یابی جهانی، رابطه همبستگی بین جرم و ضخامت لایه با ضریب همبستگی مناسب (r= ۰/۹۶) تعیین گردید. همچنین تحلیل رگرسیون در سطح ۵ درصد معنی‌داری ضریب زاویه متغیر مستقل در رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۹۲، نشان داد (شکل ۵). با استفاده از این رابطه، نقشه عملکرد محصول با بهره گیری از نرم افزار ARC GIS 10.3 با کمک نقاط داده برداری شده و روش میان‌یابی کریجینگ ترسیم گردید (شکل ۶).



شکل ۵– واسنجی داده‌های مربوط به جابه‌جایی خطی معادل چرخ ستاره‌ای و عملکرد محصول

Fig.5. Calibration curve for equivalent linear displacement of star wheel vs. crop yield



شکل ٦– نقشه عملکرد ترسیمی با تلفیق نقشه به‌دست آمده از نرم افزار Arc GIS و زمین مرجع شده با نقشه‌های Google Earth

Fig.6. Creating yield map using Arc GIS software with Google Earth Geo-referencing

Archive of SID

www.SID.ir

تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای به‌وسیله اندازه گیری نیروی برشی

به‌منظور استاندارد سازی بهتر داده‌های دریافتی، انرژی برشی طول بسته در هر مرحله پرس محاسبه و انرژی برشی ویژه نام‌گذاری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد در تیمارهای مختلف مزرعه و چین، تغییرات انرژی برشی ویژه در سطح ۱٪ به‌صورت کامل معنی‌دار بوده است (جدول ۱). در بین شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده نیز تغییرات ADF، NDF و RFV معنی‌دار و برخی از شاخص‌ها مانند پروتئین خام و DM معنی‌دار نبوده است.

آزمون همبستگی، همبستگی مناسبی را بین داده‌های انرژی برشی ویژه و شاخص‌های ADF، NDF و RFV به‌ترتیب با ضرایب همبستگی r= −۰/۸۶، r= −۰/۸۹ و r= ۰/۸۹ نشان داد. برخی از این نتایج توسط سایر محققین در شرایط آزمایشگاهی گزارش و تأیید شده است. از جمله این نتایج می‌توان به وجود همبستگی منفی بین انرژی برشی ویژه و شاخص‌های NDF و ADF که توسط لیو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است، اشاره نمود. همچنین نتایج تحقیقات میر و همکاران (۱۹۹۵) وجود همبستگی منفی بین نیروی برشی و مقدار همی‌سلولز ساقه یونجه که شاخصی از مقدار NDF است را نشان داده است. نتایج تحقیقاتی نشان داد اندازه‌گیری نیروی برشی خام همبستگی مناسبی با شاخص‌های کیفی نشان نمی‌دهد امّا استفاده از نیروی برشی ویژه (نیروی برشی به‌ازاء دانسیته خطی ($kg\ g^{-1}\ cm^{-1}$) همبستگی مناسبی با مقدار لیگنین و سلولز که تشکیل دهنده اجزاء شاخص ADF هستند، نشان می‌دهد (r= −۰/۴۵) (Herrero *et al.*, 2001).

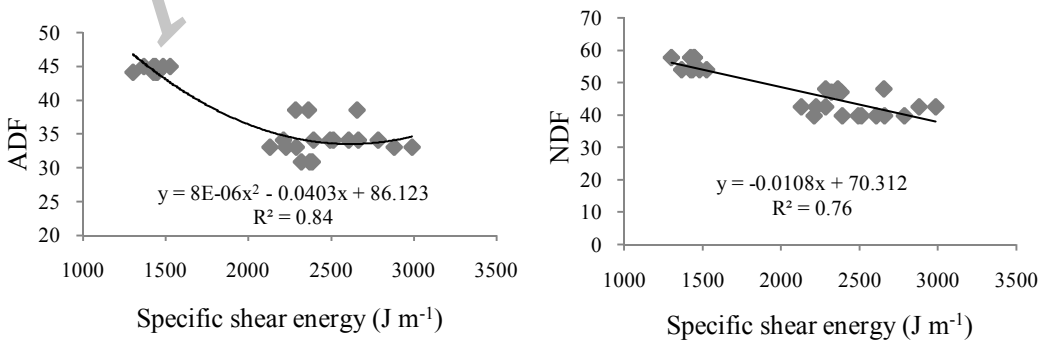
جدول ۱- جدول تجزیه واریانس مربوط به تغییرات انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 1- ANOVA table for specific shear energy variation in different treatments

SOV	DF	SS	MSS	F
بلوک Block	2	80047.7	40023.86	0.600394^{ns}
مزرعه Field	3	2013606.5	671202.20	10.068630**
خطای کرت اصلی SSEa	6	399976.2	66662.70	
چین Harvest	1	4286810.1	4286810.1	25.485990**
مزرعه×چین Harvest×field	3	483290.9	161097.0	0.957755^{ns}
بلوک×چین Block×harvest	2	71411.3	35705.7	0.212278^{ns}
خطای کرت‌های فرعی SSEb	6	1009215.6	168202.6	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ^{ns} Non. Significant

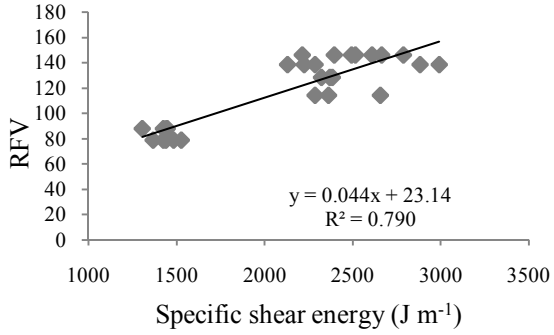


شکل ۷- منحنی واسنجی انرژی برشی ویژه و شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ایADF و NDF

Fig.7. Calibration curves for specific shear energy vs. ADF and NDF

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸- منحنی واسنجی انرژی برشی ویژه و شاخص کیفیت تغذیه‌ای اثرات تجمعیRFV

Fig.8. Calibration curve for specific energy vs. RFV

تحلیل رگرسیون هم در سطح ۵ درصد به ازا شیب خط برای شاخص‌های NDF، ADF و RFV معنی‌دار شد و نتایج منحنی‌های واسنجی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. برای فاکتورهای پروتئین خام و DM نتایج تحلیل رگرسیون معنی‌دار نشد. این در حالی است که در شرایط آزمایشگاهی وجود همبستگی منفی بین DM و انرژی برشی ویژه گزارش شده است (Liu *et al.*, 2009).

تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای به‌وسیله اندازه‌گیری نیروی فشاری

آزمون‌های آماری و طرح آزمایشی مشابه بخش قبل برای انرژی فشردگی به ازاء طول بسته در هر مرحله از پرس که انرژی فشردگی ویژه نامیده می‌شود، انجام شد. نتایج نشان داد که تغییرات انرژی فشردگی ویژه در تیمارهای مختلف سال و چین در سطح ۱٪ کاملاً معنی‌دار بود (جدول۲) ولی همبستگی مناسبی بین انرژی فشاری ویژه اندازه‌گیری شده و شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای مشاهده نگردید. بهترین همبستگی مربوط به شاخص DM بود ($r = -0/65$) و همچنین این شاخص در آزمون رگرسیون در سطح ۵ درصد هم بهترین ضریب تبیین را نشان داد ($R^2=0/42$). نتایج واسنجی در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، لیو و همکاران (۲۰۰۹) وجود همبستگی منفی بین انرژی برشی و شاخص DM را نشان داده بودند که در پژوهش حاضر نیز این همبستگی منفی وجود داشت با این تفاوت که این همبستگی بین انرژی فشردگی ویژه و شاخص مذکور به‌دست آمد.

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس مربوط به تغییرات انرژی فشردگی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 2- ANOVA table for specific compressive energy variation in different treatments

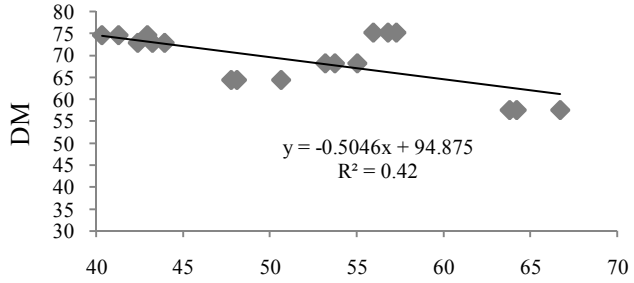
SOV	dF	SS	MSS	F
بلوک Block	2	0.706008	0.353004	0.7383^{ns}
مزرعه Field	3	896.2364	298.7455	624.8399^{**}
خطای کرت اصلی SSEa	6	2.868692	0.478115	
چین Harvest	1	282.1518	282.1518	103.2625^{**}
مزرعه×چین Harvest×field	3	36.91815	12.30605	4.503794^{ns}
بلوک×چین Block×harvest	2	2.690725	1.345363	0.492379^{ns}
خطای کرت‌های فرعی SSEb	6	16.39424	2.732374	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹- منحنی واسنجی انرژی فشردگی ویژه و شاخص کیفیت تغذیه‌ای DM

Fig.9. Calibration curve for specific compressive energy vs. DM

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد روش پیشنهادی برای پایش عملکرد، قابلیت تخمین عملکرد کمّی به‌صورت کامل را دارد. سادگی ساختار مورد استفاده و عملکرد بسیار رضایت بخش آن، امکان تشخیص نقاط کم بازده و پر بازده (تن بر هکتار) را در سطح مزرعه، نشان می‌دهد. سامانه‌های ارائه شده در این پژوهش همچنین قابلیت مناسبی در تخمین برخی خصوصیات کیفی مرتبط با خصوصیات ساقه را نشان داد. شاخص پروتئین خام (CP) با هیچ یک از روش‌ها قابل تخمین نبود؛ این مسئله از یک سو به‌دلیل تمرکز بیشتر پروتئین در برگ یونجه است که مستقیماً تحت تأثیر نیروی برشی ساقه قرار نمی‌گیرد و از سوی دیگر نسبت به جرم توده مواد ورودی به محفظه پرس درصد کمی را به‌خود اختصاص می‌دهد، لذا تأثیر چندانی بر نیروی فشاری وارد بر سر پلانجر نخواهد داشت.

نیروی برشی با توجه به سادگی اندازه‌گیری و همبستگی قوی‌تر با دو شاخص مهم ADF و NDF و همچنین شاخص اثرات تجمعی آن‌ها یعنی RFV، می‌تواند در تخمین کیفیت تغذیه‌ای مورد استفاده گیرد. تحقیقات بیشتر برای امکان سنجی استفاده از این روش در تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای، برای ارقام مختلف یونجه و در شرایطی با دامنه تغییرات کیفی وسیع‌تر برای حصول اطمینان از کاربردی بودن روش‌های پیشنهادی در شرایط مختلف توصیه می‌گردد.

منابع

1. Ahmadi, A., M. A. Ghazavi, S. Minaee, and A. M. Borgheei. 2010. Design, fabrication and evaluation of a semi-automatic yield monitoring system for alfalfa crop in square baler. Iranian Journal of Biosystem Engineering 41 (1): 11-16. (In Farsi).
2. Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander, and M. W. Wolf. 2001. Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication.
3. Blackmore, B. S. 1996. An information system for precision farming. Brighton Crop Protection Conference; British Crop Production Council. 10-1. pp. 1207-1214 1996. UK.
4. Chen, Y. X., J. Chen, Y. F. Zhang, and D. W. Zhou. 2007. Effects of harvest date on shearing force of maize stems. Livestock Science 111: 33-44.
5. Gemtos, T. A. 2011. Precision agriculture applications in high value crops. 11th International congress on mechanization and energy in agriculture. Istanbul, Turkey.
6. Herrero, M., C. B. DeValle, N. R. G. Haughes, V. O. De Sabatel, and N. S. Jessop. 2001. Measurements of physical strength and their relationship to the chemical composition of four species of brachiaria. Animal Feed Science and Technology 92: 149-158.
7. Hooshmand, H. 2013. Manufacturing and evaluation of a system for assessing energy requirement of a rectangular forage baler. Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Farsi).
8. Huang, H., H. Yu, H. Xu, and Y. Ying. 2008. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. Journal of Food Engineering 87 (3): 303–313.
9. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith, and S. N. Acharya. 1996. A shearing

Archive of SID

www.SID.ir

technique for measuring resistance properties of plant stems. Animal Feed Science Technology 57 (3): 225-237.
10. Liu, L., Z. B. Yang, W. R. Yang, S. Z. Jiang, G. G. Zhang, and B. Q. Yao. 2009. Correlations among shearing force, morphological characteristics, chemical compositions, and in situ degradability of alfalfa stem and rye grass stem. Scientia Agricultura Sinica 42 (9): 3374-3380.
11. Loghavi, M. 2003. The precision farming guide for agriculturists. Agricultural Education and Research Organization. Tehran, Iran. (In Farsi).
12. Maharlouie, M. M., S. Kamgar, and M. Loghavi. 2013. Field evaluation and comparison of two silage corn mass flow rate sensors developed for yield monitoring. International Journal of Agriculture: Research and Review 3 (4): 730-736.
13. Mir, P. S., Z. Mir, K. Broersma, S. Bittman, and J. W. Hall. 1995. Prediction of nutrient composition and in vitro dry matter digestibility from physical characteristics of forages. Animal Feed Science and Technology 55: 275-285.
14. Nazari-Galedar, M., A. Tabatabaeefar, A. Jafari, and A. Sharifi. 2008. Bending and shearing characteristics of alfalfa stem. Agricultural Engineering International: The CIGR E-journal. Vol. X. Manuscript FP 08 001.
15. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Hay and forage harvesting. Chapter 11 in Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd ed., 325-402. St. Joseph, Michigan: ASABE. Copyright, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
16. Undersander, D., D. R. Mertens, and N. Thiex. 1993. Forage analyses procedures. National Forage Testing Association. Omaha, Nebraska. USA. pp. 139.
17. YazdiSamadi, B., A. Rezaei, and M. Valizadeh. 2011. Statistical designs in agricultural research. 8th ed. University of Tehran Press. Tehran, Iran. pp. 739.

Archive of SID

www.SID.ir