طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه توأمان آشکارسازی عملکرد کمّی و خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه

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

۱–دانشجوی دوره دکتری گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی–دانشگاه شیراز
۲– استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی–دانشگاه شیراز loghavi@shirazu.ac.ir
۳– استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی–دانشگاه شیراز

چکیده

کشاورزی دقیق همواره به دنبال 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. پژوهشگران پیشگام در علم کشاورزی دقیق توجه به شاخص‌های کیفیت محصول و مطالعه عوامل تاثیر گذار بر آن را نیز با اهمیت می دانند. در این پژوهش تلاش شد تا روشی برای تهیه همزمان نقشه عملکرد کمّی و تخمین برخی از شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه ارائه و ارزیابی شود. در این راستا، اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه وارد بر تیغه و انرژی فشردگی در سر پلانجر یک دستگاه بیلر در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. عملکرد کمّی نیز با اندازه گیری لایه علوفه افزوده در هر مرحله از پرس علوفه به وسیله یک چرخ ستاره‌ای جدید و تلفیق آن با داده‌های موقعیت مکانی به صورت بلادرنگ در مزرعه بدست آمد. تحلیل و آنالیز رگرسیون و آزمون همبستگی، رابطه خطی بسیار خوب روش پیشنهادی و 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 تنها در تخمین شاخص ماده خشک مناسب بود. هیچ یک از دو روش پیشنهادی اندازه گیری 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.

واژگان 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 به دلیل 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[1] ایجاد نمود. این علم با بهره‌گیری از فناوری 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[2] 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. به رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد محصولات غیر دانه‌ای و علوفه‌ای نیز انجام شده است هنوز سامانه‌ای به صورت 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 به منظور افزایش بازارپسندی است. Blackmore, 1996 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.

کیفیت سنجی و انجام آزمون‌های غیر مخرب 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 علوفه ای در ایالات متحده آمریکا نیز نشان می‌دهد شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای این محصولات نقش مهمی در قیمت گذاری این محصول دارند (Ball *et al.*, 2001). بنابراین یافتن راهکارهایی جهت اندازه گیری بی درنگ 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 تغذیه ای در محصولات علوفه ای

به منظور ارزیابی کیفیت علوفه، شاخص‌هایی وجود دارد که عموماً در آزمایشگاه و به صورت آزمون‌های شیمیایی یا طیف نگاری اندازه گیری می‌شوند. برخی از مهم‌ترین شاخص‌های عنوان شده عبارتند از(Ball *et al.*, 2001):

۱- ماده خشک[3]: به صورت وزنی از ماده علوفه‌ای خشک باقی مانده پس از رطوبت گیری محصول علوفه ای تازه بیان می‌شود.

۲- پروتئین خام[1]: شاخصی است متشکل از میزان پروتئین حقیقی و بخش غیر پروتئینی نیتروژن موجود در علوفه که با اندازه گیری مقدار نیتروژن موجود در گیاه علوفه ای محاسبه می‌شود.

1- Precision Agriculture
2- Site-specific Crop Management
3- Dry Matter(DM)

۳- شاخص ADF[2]: 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[3]: شاخصی است از مقدار دیواره سلولی موجود در علوفه که شامل همی سلولز[4] و اجزاء شاخص ADF می‌باشد. این شاخص نیز نشان دهنده میزان هضم پذیری علوفه توسط دام است. به طور کلی هر چه میزان این شاخص در علوفه‌ای کمتر باشد توانایی هضم و گوارش علوفه برای دام ساده تر است.

۵- شاخص ماده خشک مصرفی (DMI[5]): 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 (DDM[6]): شاخصی است محاسباتی که بر اساس شاخص ADFتعیین می‌گردد. این شاخص در محاسبه شاخص RFV[7] 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 به صورت یک عدد نمایش می‌دهد. این شاخص در تعیین کیفیت علوفه در بازار و تعیین قیمت نهایی نقش بسزایی دارد. آمارهای خرید و فروش محصولات علوفه‌ای در آمریکا نشان داد که با افزایش این شاخص، از ۷۵ واحد به ۱۵۰ واحد، 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 کیفیت سنجی محصولات علوفه‌ای بیشتر بر اساس روش‌های سنجش از دور و استفاده از روش‌های مبتنی بر طیف سنجی متمرکز بوده است. علیرغم نتایج بسیار خوب بدست آمده در این روش‌ها (Haung *et al.,* 2008)، به دلیل مشکلات به کارگیری در شرایط مزرعه‌ای و بی درنگ از یک سو و از سوی دیگر استفاده در کشورهای در حال توسعه به دلیل 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 به منظور تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه ای محصول صورت گرفته که نشان می‌دهد استفاده از این روش در شرایط کنترل شده در تخمین برخی خصوصیات کیفیتی امکان پذیر است (Mir *et al.,* 1995; Iwaasa *et al.,* 1996; Chen *et al.,* 2007; Liu *et al.,* 2009).

در این تحقیقات مقاومت برشی گیاه به عنوان یک شاخصه از ترکیبات شیمیایی درونی گیاه و خصوصیات کیفی محصول مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تحقیقی مقاومت برشی ساقه گیاهان مختلف علوفه ای به منظور یافتن رابطه‌ای بر اساس روش

1- Crude Protein(CP)
2- Acid Detergent Fiber
3- Neutral Detergent Fiber
4- Hemi cellulose
5- Dry Matter Intake
6- Digestible Dry Matter
7- Relative Feed Value

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 بودند اندازه گیری و مشخص گردید مقدار این نیرو در واریته‌های مختلف متفاوت است، ولی محل برش تأثیر معنی داری بر مقدار نیروی برشی ندارد (Iwaasa *et al.*, 1996). آنان تغییرات مقدار نیروی برشی را به قطر ساقه، دانسیته خطی، وزن ساقه و به صورت ضعیف‌تر به خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای مانند پروتئین خام وADF ساقه مرتبط دانستند. تحقیقات مشابه دیگری توسط محققین دیگر نیز صورت گرفته است که استفاده از روش اندازه گیری نیروی برشی را 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 همی سلولز است را امکان پذیر دانسته‌اند (Herrero *et al.*,2001).

Chen *et al.*, 2007 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 اندازه گیری نیروی برشی این روش را جهت تخمین ارزش کیفی گیاه علوفه‌ای مفید دانستند.

در مورد گیاه علوفه‌ای یونجه نیز تحقیقات مشابهی صورت گفته است که روش اندازه گیری نیروی برشی را راهکاری مناسب برای آزمون بی درنگ 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 اندازه گیری گردید. نتایج این مطالعه نشان داد تغییر در مقدار نیروی برشی لازم برای هر دو نوع گیاه می‌تواند به وسیله 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 اندازه-گیری نیروی برشی می‌تواند به عنوان روشی جایگزین در تخمین بی درنگ و غیرمخرب کیفیت و ترکیبات شیمیایی ساقه مورد استفاده قرار گیرد.

با جمع بندی آنچه بیان شد و با توجه به اهمیت محصول یونجه در ایران به عنوان 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 و Gemtos, 2009) لزوم تهیه نقشه‌های تغییر پذیری کمّی و کیفی محصول 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.

در پژوهش حاضر تلاش شد تا یک سامانه همزمان اندازه گیری بی درنگ عملکرد کمّی و خصوصیات کیفی جهت نصب بر روی ماشین بسته بند علوفه طراحی و ساخته شود. 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 به عنوان مبنای این پژوهش مناسب تشخیص داده شد.

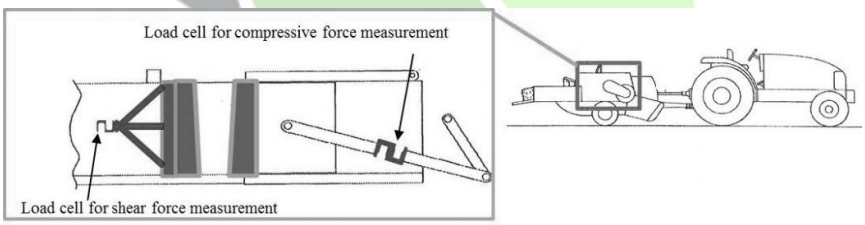
مواد و روش‌ها

ساخت و نصب قطعات مکانیکی

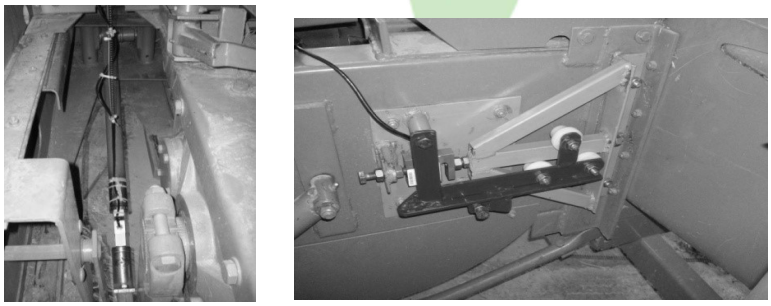
به منظور اندازه گیری انرژی برشی و فشاری در حین فرایند بسته بندی سلول‌های بارسنج به ترتیب برروی چاقوی ثابت ماشین و شاتون متصل به پلانجر مطابق آنچه در شکل طرحواره ۱ دیده می شود، برروی ماشین نصب گردید.

برای اندازه گیری 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, R.O.[1] 3mV/V) متصل شد (شکل‌های ۱ و ۲–a). در این شرایط نیروی وارد بر علوفه در حین برش به وسیله چاقوهای متحرک پلانجر و چاقوی ثابت اندازه گیری می‌شود. به منظور جلوگیری از تأثیر گشتاور خمشی این نیرو بر دقت سلول بار سنج از غلتک‌های غیر اصطکاکی استفاده گردید.

برای اندازه گیری انرژی فشاری پلانجر در حین بسته بندی از روش بکار گرفته شده توسط Hooshmand, 2013 استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲–b). در این روش سلول بار سنج (ZEMIC™, 5000 kg, R.O. 2.992 mV/V) بر روی شاتون نصب شد و مؤلفه نیرو در راستای حرکت پلانجر برای محاسبه انرژی فشاری مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱. نمای طرحواره محل قرارگیری سامانه‌های اندازه گیری برروی ماشین بسته بند



b **a**

شکل ۲. سامانه های ساخته شده برای اندازه گیری نیروی: **a**– برشی روی چاقوی ثابت، **b**– نیروی فشردگی سر پلانجر

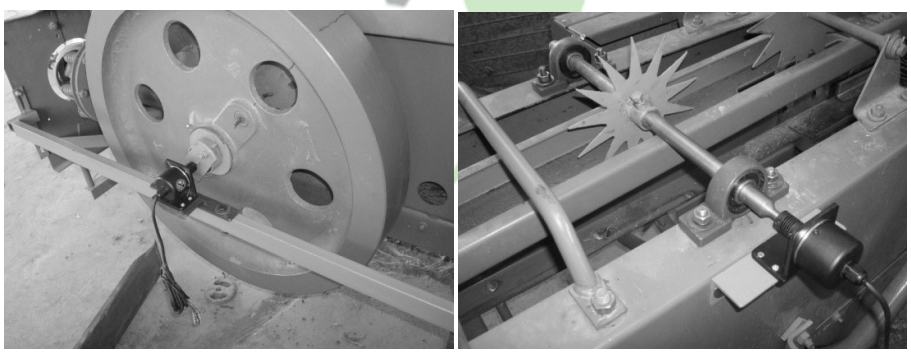
1- Rated Output

تحقیقات مرور شده توسط Srivastava *et al.*, 2006 بر اساس پژوهش‌های Geraham *et al.*, 1953 بر روی نحوه کار ماشین بسته بند نشان داد که اندازه گیری انرژی برشی صرف شده برای برش علوفه توسط پلانجر تحت تأثیر جریان جرمی محصول و محتوای رطوبتی محصول است. برای تعیین خصوصیات کیفی توسط این روش لازم بود تا اثر عوامل یاد شده حذف و نیروی اندازه گیری شده استانداردسازی می‌شد. به منظور حذف اثر رطوبت از نتایج تحقیق Nazarigaledar *et al.*, 2008 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 Ahmadi *et al.*, 2010 که از چرخ ستاره‌ای متصل به سیستم گره زن برای اندازه گیری جریان جرمی استفاده کرده بودند، با انجام تغییراتی مبنا قرار گرفت.

برای حذف تأثیر جریان جرمی بر نیروی برشی و فشاری اندازه گیری شده، یک چرخ ستاره‌ای جدید در پشت چرخ ستاره‌ای واحد گره زن نصب گردید و محور آن به یک کد کننده نوری افزایشی کوپل شد (شکل ۳–a). میزان چرخش زاویه‌ای چرخ ستاره ای 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 Ahmadi *et al.*, 2010، حذف اصطکاک زیاد چرخ ستاره ای راه انداز واحد گره زنی و لغزش آن بر روی بسته در حال تشکیل است که در این تحقیق این نقیصه بر طرف شده است.

با تلفیق داده‌های ضخامت لایه افزوده در هر مرحله پرس و موقعیت مکانی دریافتی از سامانه مکان یابی جهانی، نقشه عملکرد محصول نیز از طریق همین چرخ ستاره‌ای تهیه گردید.

برای محاسبه انرژی **باید** جابجایی خطی پلانجر نیز اندازه گیری می شد. بدین منظور از یک کد کننده نوری افزایشی در مرکز فلایویل استفاده شد (شکل ۳–b). برای تبدیل جابجایی دوران زاویه‌ای به جابجایی خطی از روابط هندسی اجزای پلانجر که توسط Srivastava *et al.*, 2006 بیان شده است، استفاده گردید.

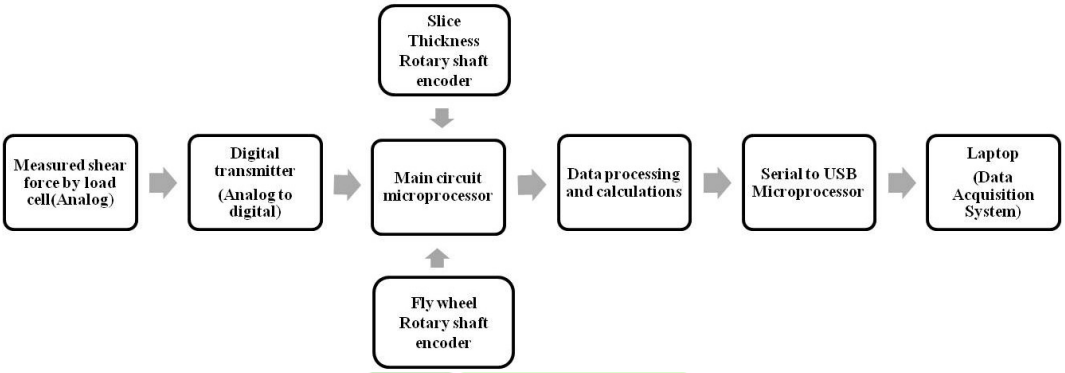


b **a**

شکل ۳. سامانه های اندازه گیری: **a**. ضخامت لایه افزوده در هر مرحله پرس و **b.** سرعت خطی پلانجر

مدار الکترونیکی و نرم افزار داده برداری

برای دریافت داده‌های سلول‌های بار سنج و کد کننده‌های نوری افزایشی و انجام پردازش بر روی داده‌ها و در نهایت ارسال و ذخیره سازی 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 برنامه نویسی C++ نوشته شد.



شکل ۴. نمودار عملکردی سامانه الکترونیکی داده برداری و ذخیره سازی

آزمون مزرعه ای

به منظور 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 ماه-های مرداد و مهر ماه برای داده برداری انتخاب گردید. دلیل انتخاب این مزارع و چین‌ها، تأثیر چرخه رشد سالیانه و درجه روز دریافتی بر خصوصیات کیفیت تغذیه ای بود که در منابع به آن‌ها اشاره شده بود (Ball *et al.*, 2001)

به منظور تعیین مقدار عددی شاخص‌های کیفی در این مزارع و چین‌های یاد شده و یافتن رابطه آن (در صورت وجود) با تغییرات انرژی برشی و فشاری اندازه گیری 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 اندازه گیری انرژی برشی و فشاری در مزرعه، مقایسه و تحلیل شد.

برای تهیه نقشه عملکرد کمّی هم لازم بود تا همبستگی بین ضخامت لایه‌های افزوده شده در هر مرحله پرس در حین فرایند تشکیل بسته با جرم محصول ردیف شده تعیین شود؛ بدین منظور در مزرعه قسمت‌هایی از محصول ردیف شده قبل از انجام عملیات بسته بندی به صورت تصادفی انتخاب و توزین می‌شد و این نقاط مزرعه به وسیله سامانه مکان یابی جهانی علامت گذاری گردید. پس از این مرحله توزین، با حرکت ماشین بسته بند مجهز به سامانه مکان یابی در مزرعه و تلفیق داده‌های حاصل

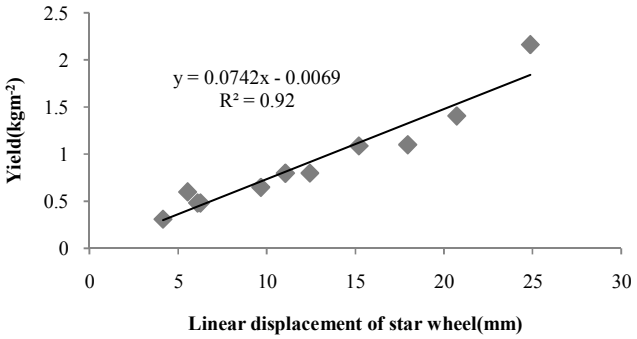
1-Association of Official Analytical Chemists

از اندازه گیری 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.

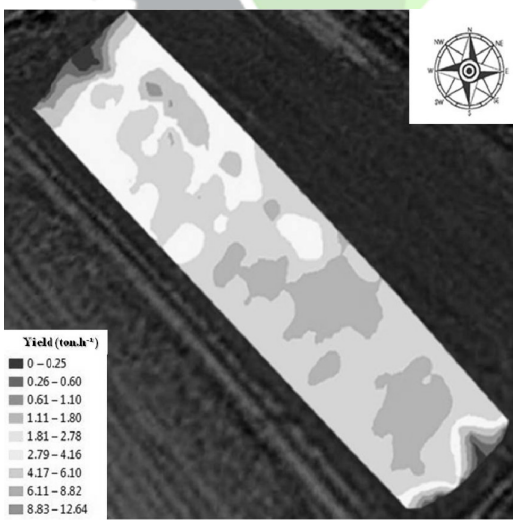
نتایج و بحث

آشکار سازی عملکرد کمّی محصول

همان طور که در بخش قبل بیان شد با زمین مرجع نمودن داده‌های مربوط به ضخامت لایه افزوده از سامانه داده برداری و داده-های حاصل از توزین محصول با کمک سامانه مکان یابی جهانی، رابطه همبستگی بین جرم و ضخامت لایه با ضریب همبستگی مناسب (r = ۰/۹۶) تعیین گردید. همچنین در تحلیل و آنالیز رگرسیون در سطح ۵ درصد معنی داری ضریب زاویه متغیر مستقل در رابطه خطی را 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 میان یابی کریجینگ ترسیم گردید (شکل ۶).



شکل ۵. واسنجی داده های مربوط به جابجایی خطی معادل چرخ ستاره ای و عملکرد محصول

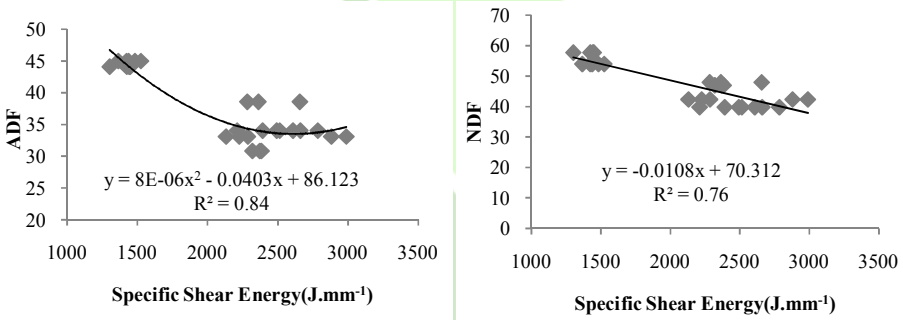


شکل ۶. نقشه عملکرد ترسیمی با تلفیق نقشه بدست آمده از نرم افزارArc GIS و زمین مرجع شده با نقشه‌های Google Earth

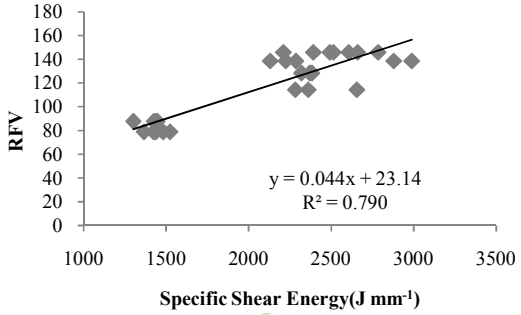
تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای به وسیله اندازه گیری نیروی برشی

به منظور استاندارد سازی بهتر داده‌های دریافتی، انرژی برشی به ازاء ضخامت لایه افزوده در هر مرحله محاسبه گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد در تیمارهای مختلف سال و چین، تغییرات انرژی برشی ویژه در سطح ۱٪ به صورت کامل معنی دار بوده است(برای مزارع مختلف $F_{calc(3,6)}$ =۱۰/۹۹ برای چین‌های مختلف$F_{calc(1,6)}$=۴۰/۳۵). در بین شاخص‌های کیفی اندازه گیری شده نیز تغییرات ADF، NDF و RFV معنی دار و برخی از شاخص‌ها مانند پروتئین خام و DM معنی دار نبوده است.

آزمون همبستگی، همبستگی مناسبی را بین داده‌های انرژی برشی و شاخص‌های ADF، NDF و RFV به ترتیب با ضرایب همبستگی r= -۰/۸۶، r= -۰/۸۹ و r = ۰/۸۹ نشان داد. تحلیل و آنالیز رگرسیون هم در سطح ۵ درصد به ازا شیب خط برای این شاخص‌ها معنی دار شد. نتایج و منحنی‌های واسنجی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. برای فاکتورهای پروتئین خام و DM نتایج تحلیل و آنالیز رگرسیون معنی دار نشد.



شکل ۷. منحنی واسنجی انرژی برشی ویژه و شاخص‌های کیفیت تغذیه ایADF و NDF

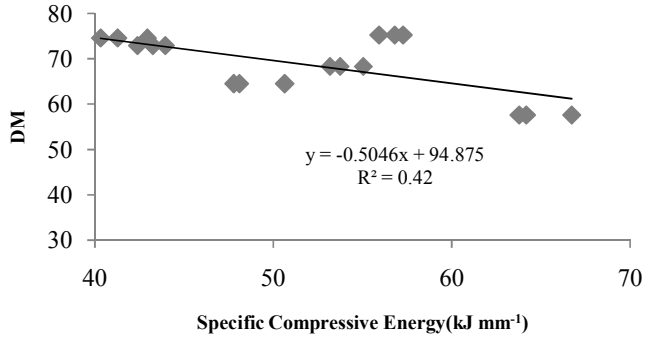


شکل ۸. منحنی واسنجی انرژی برشی ویژه و شاخص کیفیت تغذیه ای اثرات تجمعیRFV

تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای به وسیله اندازه گیری نیروی فشاری

آزمون‌های آماری مشابه بخش قبل برای اندازه گیری انرژی فشردگی استاندارد سازی شده وارد بر علوفه به ازاء ضخامت افزوده در اثر حرکت پلانجر انجام گرفت. در این بخش نیز انرژی فشاری ویژه (به ازاء ضخامت لایه افزوده) در تیمارهای مختلف سال و چین در سطح ۱٪ کاملاً معنی دار بود (برای مزارع مختلف $F_{calc(3,6)}$ =۶۲۴/۸۴ و برای چین‌های مختلف$F_{calc(1,6)}$=۱۰۳/۲۶) ولی همبستگی مناسبی بین انرژی فشاری ویژه اندازه گیری شده و شاخص‌های کیفیت تغذیه ای مشاهده نگردید. بهترین همبستگی

مربوط به شاخص DM بود (r = −۰/۶۵) و همچنین این شاخص در آزمون رگرسیون در سطح ۵ درصد هم بهترین ضریب تبیین را نشان داد (R^2=۰/۴۲). نتایج واسنجی در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹. منحنی واسنجی انرژی فشردگی ویژه و شاخص کیفیت تغذیه ایDM

نتیجه گیری:

نتایج بدست آمده نشان داد روش‌های پیشنهادی قابلیت تخمین عملکرد کمّی به صورت 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. این نتایج توسط سایر محققین هم در شرایط آزمایشگاهی تصدیق شده بود. از جمله این نتایج می توان به وجود همبستگی منفی بین انرژی برشی ویژه و شاخص های DM، NDF و ADFکه توسط Liu *et al.*,2009 گزارش شده است، اشاره نمود. همچنین نتایج تحقیقات Mir *et al.*,1996 وجود همبستگی منفی بین نیروی برشی و مقدار همی سلولز ساقه یونجه که شاخصی از مقدارNDF است را نشان داد. شاخص پروتئین خام(CP) با هیچ یک از روش‌ها قابل تخمین نبود؛ این مسئله از یک سو به دلیل 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 به خود اختصاص می‌دهد، لذا تأثیر چندانی بر انرژی فشاری وارد بر سر پلانجر نخواهد داشت. نیروی برشی با توجه به سادگی اندازه گیری و همبستگی بهتر با دو شاخص مهم ADF و NDF و همچنین شاخص اثرات تجمعی آن‌ها یعنی RFV، می‌تواند در تخمین کیفیت تغذیه ای مورد استفاده گیرد. تحقیقات بیشتر برای امکان سنجی استفاده از این روش در تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه ای، 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.

سپاسگزاری

این پایان نامه بخشی از یک رساله دکتری می باشد. نویسندگان مقاله برخود لازم می دانند از زحمات مشاوران این رساله آقایان دکتر محمدحسین رئوفت، دکتر محمدرضا رضوانی و دکتر سید عبدالرضا کاظمینی اساتید محترم گروه‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، علوم دامی و زراعت و اصلاح نباتات سپاسگزاری نمایند، همچنین از آقای دکتر عدالت سرپرست محترم واحد زراعی دانشکده کشاورزی به منظور مدیریت انجام عملیات زراعی مزارع تحقیقاتی طرح و معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به دلیل حمایت مالی طرح تشکر و قدردانی می شود.

منابع

1. 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.101 Park Ridge, IL
2. Blackmore, B.S. 1996. An Information System for Precision Farming. Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases.pp.1207-1214.
3. 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.
4. Gemtos, T.A. 2011. Precision agriculture applications in high value crops. In: Proceedings 11th International congress on mechanization and energy in agriculture. edited by: T. Aktas. TRAKAGENG 2011, Istanbul, Turkey.
5. Herrero, M., C.B. De Valle, 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.
6. 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]
7. 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: 303–313.
8. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith and S. N. Acharya. 1996. A shearing technique measuring resistance properties of plant stems. Animal Feed Science Technology. 57: 225-237.
9. 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. ScientiaAgriculturaSinica, 42(9): 3374-3380.
10. Loghavi, M. 2003. The Precision Farming Guide for Agriculturists. Agricultural Organization for Education and Research. Tehran. Iran. pp. 295.[Translated in Farsi]
11. 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.
12. 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(3-4): 275-285.
13. NazariGaledar, 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.
14. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D.R. Buckmaster. 2006. (rev.) 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.
15. Undersander, D., D. R. Mertens, and N. Thiex. 1993. Forage Analyses Procedures, National Forage Testing Association. Omaha, Nebraska. USA. pp. 139

Design, Development and Evaluation of a Simultaneous Quantity and Nutritional Quality Monitoring System for Alfalfa

Mohammadmehdi Maharlooei[1], Mohammad Loghavi[2*] and Seyedmehdi Nassiri[3]

1-PhD Candidate, Mechanics of Agricultural Machinery Engineering Dept. Shiraz University
2- Professor, Mechanics of Agricultural Machinery Engineering Dept. Shiraz University
loghavi@shirazu.ac.ir
3- Assistant professor, Mechanics of Agricultural Machinery Engineering Dept. Shiraz University

Abstract

Precision Agriculture is continuously trying to address the sources and factors affecting the infield variability and taking appropriate managerial decisions. One of the popular research areas in the resent three decades has been concentrated on development of new approaches for making yield variability maps. Advancement in development of sensors and the importance of quality factor in high value crops has motivated scientists to investigate real-time and nondestructive testing methods. In this study it has been tried to introduce and evaluate an approach for concurrent yield mapping and estimation of some nutritional quality of alfalfa production. In this study, measurement of specific shear energy applied on cutting blade and compressive energy on plunger head of a hay baler in field conditions were evaluated. Yield quantity was also determined by measurement of added hay slice in every hay compression cycle by employing a new star wheel and integrating its output with positioning data. The results of statistical analysis showed a very good correlation between the suggested approach and yield mass (r=0.96). The results of using specific shear energy for estimation of raw fiber and cumulative index RVF with regard to field conditions were rated acceptable. Using compression energy was suitable only for estimating dry matter. None of the suggested methods was able to estimate the hay raw protein. Further investigations at more extensive variations of quality indices and alfalfa varieties are suggested.

Key words: Alfalfa, Nutritional quality indices, Precision agriculture, Quantitative yield