



تهیه نقشه عملکرد مزرعه با استفاده از سامانه سنجش انرژی دستگاه بسته بند مکعبی علوفه

حسین هوشمند\*<sup>۱</sup>، محمد لغوی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- استاد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

### چکیده

امروزه با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر علم الکترونیک و رایانه و ارتباط روزافزون این علم با سایر علوم، عرصه‌های نوین و گسترده‌ای برای تلاش و ایجاد تحول فراروی بشر قرار گرفته است. از جمله این تحولات می‌توان به کشاورزی دقیق به عنوان نتیجه تلفیق علم الکترونیک و کشاورزی اشاره نمود. پیشرفته‌ترین بخش این فناوری مربوط به بخش پایش عملکرد محصول می‌باشد. در این بخش کشاورز با بهره‌گیری از حسگرهای الکترونیکی نصب شده بر روی ماشین برداشت به صورت بی‌درنگ در حین برداشت محصول، جریان جرمی لحظه‌ای مواد برداشت شده را ثبت می‌نماید. با ترکیب این داده‌ها با داده‌های مکانی حاصل از سیستم GPS، کشاورز می‌تواند نقشه‌ی میزان عملکرد محصول مزرعه را ترسیم نماید. در این تحقیق با جایگذاری یک بارسنج بر روی پلانتر دستگاه بسته‌بند برای اندازه‌گیری نیروی وارد بر پلانتر و یک شفت‌انکودر بر روی فلاویل دستگاه برای تشخیص زاویه و میزان جابجایی پلانتر در حین کار، میزان نیروی افقی وارد بر پلانتر و نیز جابجایی آن هنگام فشرده کردن علوفه اندازه‌گیری شد. با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی پلانتر میزان انرژی بسته‌بندی دستگاه بسته‌بند مشخص گردید. با توزین محصول در نقاط مختلف مزرعه قبل از برداشت توسط بسته‌بند و داده‌های به دست آمده از حسگرهای جایگذاری شده بر روی بسته بند در حین برداشت مشخص گردید که رابطه خوبی بین مقدار جرمی محصول و میزان انرژی بسته‌بندی دستگاه بسته‌بند وجود دارد. داده‌های مکانی مزرعه با استفاده از یک سیستم مکان‌یابی جهانی (GPS) اندازه‌گیری شد. با ترکیب داده‌های به دست آمده از حسگرهای جایگذاری شده بر روی دستگاه بسته‌بند و داده‌های مکانی نقشه عملکرد مزرعه تهیه گردید.

**واژه‌های کلیدی:** دستگاه بسته بند مکعبی علوفه، سامانه سنجش انرژی، نقشه عملکرد مزرعه، یونجه



## مقدمه

کشاورزی دقیق به مجموعه‌ی فعالیت‌هایی که در یک چرخه تولید زراعی اعم از عملیات قبل از کاشت تا مرحله برداشت محصول به صورت خاص مکانی انجام می‌گیرد اطلاق می‌گردد که در نهایت منجر به ارتقاء کیفیت و کمیت محصول و کاهش میزان کاربرد نهاده‌ها می‌گردد. اولین و پیشرفته‌ترین حلقه از فناوری‌های مرتبط با علم کشاورزی دقیق مربوط به آشکارسازی عملکرد محصول می‌باشد. در این فرایند با بهره‌گیری از حسگرهای نصب شده بر روی ماشین‌های برداشت، جریان جرمی مواد برداشت شده به صورت لحظه‌ای ثبت می‌گردد. تلفیق داده‌های مربوط به جریان جرمی لحظه‌ای مواد با داده‌های حاصل از سیستم مکان‌یابی جهانی GPS این امکان را به کشاورز می‌دهد که تغییرات مکانی میزان محصول تولیدی را در مزرعه تشخیص و در صورت نیاز بهبود بخشد و براین اساس به شناخت عوامل موثر بر عملکرد محصول بپردازد. بینش کشاورزی دقیق شامل بکارگیری برخی از ابزار پیشرفته ارزیابی شرایط مزرعه و کاربرد بذر، کود و مواد شیمیایی متناسب با نیاز می‌باشد. کشاورز می‌تواند با استفاده از فناوری‌هایی چون سامانه مکان‌یابی جهانی، حسگرهای الکترونیکی، کنترل کننده‌ها و نرم‌افزارهای پیشرفته، تصویری تفصیلی از عملیات خود خلق نماید. مدیریت سطوح کوچک درون کشتزار بمنظور کاهش کاربرد مواد شیمیایی و بهبود بهره‌وری، هدف روش‌های کشاورزی دقیق است. واضح است که امروزه با وجود کشاورزی در مقیاس وسیع، مدیریت مزرعه به صورت ویژه مکانی و بوته به بوته به صورت مجزاء در کشتزار بدون بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته الکترونیکی ناممکن است. فناوری‌های پیشرفته الکترونیکی می‌تواند وجود تغییرپذیری درون مزرعه و در نتیجه کاربرد تجهیزات با نرخ متغیر (VRA) که شرط لازم استفاده از کشاورزی دقیق است را فراهم نماید.

تلاش برای تعیین عملکرد محصولات کشاورزی از سال‌ها قبل آغاز گردیده است. در مورد محصولات دانه‌ای مانند گندم و ذرت دانه‌ای پژوهش‌های مختلفی به منظور تعیین جریان جرمی مواد صورت گرفته است که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به طراحی حسگرهای فتوالکترونیک، چرخ پره‌ای و حسگر نیروی ضربه‌اشاره نمود.

ویلد و آرن هامر (۱۹۹۹) در تحقیقی به منظور آشکارسازی عملکرد علوفه خشک اقدام به نصب بار سنج کشتی بر روی مالبنده و دو بارسنج مجهز به کرنش سنج‌های برشی بر روی اکسل‌های یک بسته‌بند استوانه‌ای جان دیر مدل ۵۵۰ نمودند. دلیل استفاده از بار سنج‌های برشی از بین بردن اثر تنش حاصل از گشتاور خمشی متاثر از تغییر نقطه اعمال نیرو بود. آزمایش‌ها در دو وضعیت ایستا و در حال حرکت انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق توانایی حسگرها را در اندازه‌گیری وزن بسته‌ها با خطای کمتر از ۱٪ در شرایط ایستا نشان می‌داد. اما در شرایط اندازه‌گیری وزن در حال حرکت علیرغم به کار بردن فیلترهای پایین‌گذر و روش‌های هموارسازی داده‌ها خطای ۱۰٪ در نتایج مشاهده شد.

مگوارا و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی در انگلستان به منظور وزن‌کشی پویای بسته‌های خروجی از یک ماشین بسته‌بند مکعبی بزرگ پس از توسعه یک مدل ریاضی، مبدل‌های نیرویی را به زنجیرهای حامل سینی انتهایی ماشین متصل کردند و بسته‌های در حال حرکت را وزن نمودند. رابطه بین خروجی مبدل‌ها و وزن بسته‌ها که به صورت دستی انجام شد مبین رابطه خطی با ضریب



تیبین ۰/۹۸ بود. همچنین وزن کشی مستقیم بسته‌ها نشان داد وزن بیش از ۹۹٪ از بسته‌ها اختلافی کمتر از ۱۰٪ با وزن بدست آمده از خروجی مبدل‌ها داشت. در ادامه این پژوهش در مطالعه اثر سرعت حرکت ماشین نتیجه گرفتند که تغییر سرعت در محدوده ۶-۱۰ کیلومتر بر ساعت اثر معنی‌داری را بر خروجی مبدل‌ها نداشته است.

احمدی و همکاران (۱۳۸۹) به طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه نیمه خودکار اندازه‌گیری موضعی مقدار محصول یونجه خشک دستگاه بسته‌بند علوفه اقدام کردند. در این تحقیق از داده‌های مکانی و داده‌های مقدار محصول برای تهیه نقشه عملکرد محصول استفاده گردید. موقعیت ماشین بسته‌بند با استفاده از سامانه مختصات محلی ثبت گردید و چون محصول ورودی به ماشین بسته‌بند مکعبی به صورت تدریجی به بسته در حال تشکیل اضافه می‌شد؛ برای به دست آوردن مقدار محصول از روش به دست آوردن حجم جزئی محصول یونجه خشک اضافه شده به بسته در حال تشکیل استفاده شد. پس از به دست آمدن داده‌های حجمی، تبدیل حجم محصول به جرم با استفاده از دو چگالی صورت گرفت که عبارت بودند از: چگالی بسته در حال تشکیل و چگالی متوسط بسته‌های کل مزرعه. بر مبنای نتایج به دست آمده رابطه بین خروجی چرخش سنج‌های استفاده شده در سامانه و مقدار دوران محور چرخش سنج خطی بود ( $R^2 > 0.998$ ). با استفاده از چگالی هر بسته برای تبدیل داده‌های حجمی به جرمی در مقایسه با چگالی متوسط کل بسته‌ها، خطای بخش اندازه‌گیری مقدار محصول از ۲۲/۱۲٪ به ۱/۷۴٪ رسید.

با وجود تحقیقات مورد اشاره پژوهش‌های اندکی راجع به پایش عملکرد محصول به روش سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی صورت گرفته است. بنابراین در این پژوهش هدف، طراحی و توسعه‌ی سامانه‌ای برای پایش عملکرد گیاه زراعی یونجه خشک با استفاده از سامانه‌ی سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی علوفه بود.

## مواد و روش‌ها

### اندازه‌گیری انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند

این انرژی برابر با سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی پلانژر می‌باشد؛ بنابراین اندازه‌گیری انرژی مستلزم اندازه‌گیری میزان نیرو در جهت جابجایی و جابجایی پلانژر می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان نیرو از یک بارسنج جابگذاری شده بر روی شاتون پلانژر و برای اندازه‌گیری زاویه میل لنگ و میزان جابجایی پلانژر در حین کار از یک شفت انکودر نصب شده بر روی چرخ لنگر دستگاه بسته‌بند استفاده گردید که در قسمت‌های بعدی به تفصیل، نوع و نحوه استفاده از این حسگرها شرح داده می‌شود.

### نحوه تجهیز پلانژر دستگاه بسته‌بند به بارسنج

اتصال بارسنج به پلانژر دستگاه بسته‌بند نیازمند برش قسمتی از پلانژر به اندازه طول بارسنج و جایگذاری بارسنج بین آن بود که برای اینکار پلانژر و پیستون از دستگاه بسته‌بند جدا گردید و با برش قسمتی از شاتون، بارسنج با استفاده از اتصالات پیچ و مهره در طول شاتون پلانژر جایگذاری شد (شکل ۱).



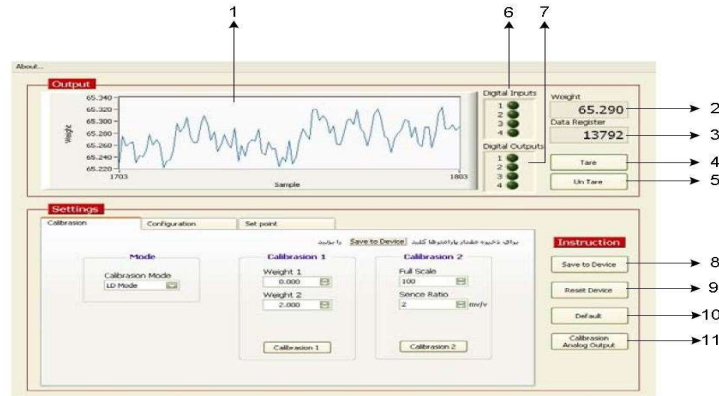
شکل ۱- بارسنج جایگذاری شده بر روی شاتون پلانتر بسته‌بند.

از آنجایی که خروجی بارسنج‌ها به صورت ولتاژ می‌باشد؛ برای تبدیل ولتاژ خروجی به نیرو، بارسنج نیازمند واسنجی می‌باشد که برای این کار از ترنسمیتر (ساخت شرکت تیکا، مدل TM-1020) استفاده گردید. این دستگاه سیگنال خروجی بارسنج یا کرنش سنج را به صورت ۴ سیمه دریافت کرده و پس از محاسبات و پردازش توسط مدار الکترونیک، در خروجی به شکل سریال یا آنالوگ قابل دسترسی قرار می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲- ترنسمیتر استفاده شده برای واسنجی بارسنج.

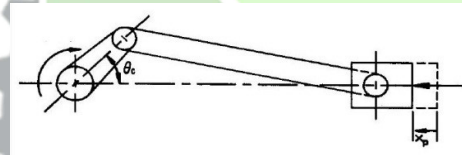
نرم افزاری که برای مانیتور، واسنجی و انجام تنظیمات این دستگاه طراحی شده است (TM-Setting (TM-1020) می‌باشد که این نرم افزار در یک لوح فشرده همراه دستگاه قرار داشت. پس از نصب نرم افزار و اتصال یکی از پورت‌های سریال دستگاه به پورت سریال رایانه، نرم افزار را اجرا کرده و در صورت صحیح بودن پارامترهای پورت سریال رایانه، نرم افزار به صورت خودکار به صفحه اول وارد می‌شود. نرم افزار فوق شامل دو بخش می‌باشد که بخش بالا مربوط به وزن، ورودی دیجیتال و مقادیر مربوط به اندازه‌گیری و بخش پایین مربوط به تنظیمات و واسنجی دستگاه می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- صفحه اصلی نرم افزار TM-Setting.

### تعیین زاویه و موقعیت پلانژر دستگاه بسته‌بند در حین کار

پارامتر دیگر برای محاسبه انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند مقدار جابجایی پیستون بسته‌بند می‌باشد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری میزان جابجایی پیستون، زاویه چرخش چرخ لنگر بسته‌بند اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه ۱ میزان جابجایی پیستون محاسبه گردید (Sirvastava et al, 1993).



شکل ۴- شماتیک اتصال لنگ و پلانژر دستگاه بسته‌بند.

$$X_p = r_c (1 - \cos \theta_c) + L_{cr} - (L_{cr} - r_c \sin^2 \theta_c)^{0.5} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $X_p$  میزان جابجایی پیستون (پلانژر) بر حسب متر،  $\theta_c$  زاویه چرخش لنگ یا چرخ لنگر بسته‌بند بر حسب درجه،  $L_{cr}$  طول پلانژر بر حسب متر و  $r_c$  شعاع لنگ بر حسب متر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری زاویه چرخش لنگ بسته‌بند از یک شفت انکودر با وضوح ۵۰۰ پالس استفاده گردید (شکل ۵).

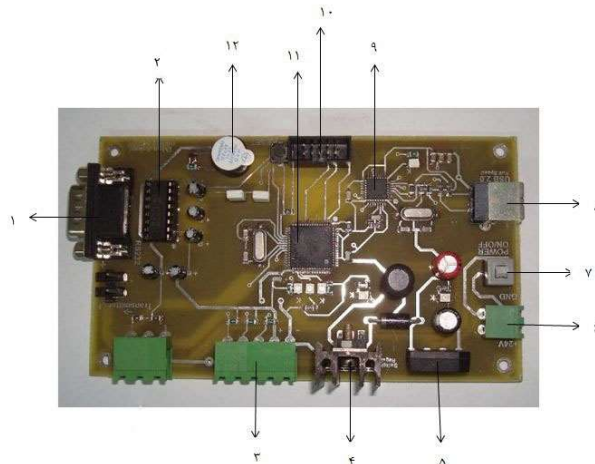


شکل ۵- نحوه اتصال شفت انکودر به چرخ لنگر بسته‌بند.



## جمع آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها

از یک برد الکترونیکی برای جمع آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها در این تحقیق استفاده شد. این برد الکترونیکی داده‌های مربوط به بارسنج و شفت انکودر را در ورودی گرفته و از طریق یک درگاه USB به یک رایانه قابل حمل منتقل می‌کند (شکل ۶).



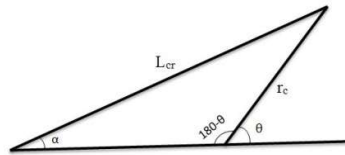
شکل ۶- مدار الکترونیکی برای جمع آوری داده‌های حسگرها.

(۱ درگاه RS232؛ ۲ تراشه Max 232؛ ۳ درگاه شفت انکودر؛ ۴ رگولاتور ولتاژ؛ ۵ پل دیود؛ ۶ درگاه ولتاژ ورودی؛ ۷ کلید روشن و خاموش؛ ۸ درگاه USB؛ ۹ میکرو کنترلر درگاه USB؛ ۱۰ درگاه برنامه نویسی میکرو کنترلر اصلی؛ ۱۱ میکرو کنترلر اصلی؛ ۱۲ اخطار دهنده صوتی.

برای تغذیه مدار و حسگرها از باتری تراکتور، اینورتر و ترانس استفاده گردید. بدین ترتیب که جریان ۱۲ ولت مستقیم خروجی از باتری تراکتور وارد اینورتر شده و به جریان ۲۲۰ ولت متناوب تبدیل شده و این جریان با استفاده از یک ترانس دوباره به جریان ۱۲ ولت مستقیم تبدیل شده و برق مدار و حسگرها را تأمین می‌کند. جریان مستقیم خروجی از ترانس به مراتب کم نوسان تر از جریان مستقیم باتری تراکتور بود.

## محاسبه نیروی افقی وارد بر پلانژر دستگاه بسته‌بند

محاسبه نیروی افقی وارد بر پلانژر مستلزم اندازه‌گیری نیروی وارد بر شاتون پلانژر و زاویه آن با راستای افق می‌باشد (رابطه ۲). اندازه‌گیری نیروی وارد بر پلانژر توسط بارسنج و تعیین زاویه شاتون پلانژر با راستای افق با اندازه‌گیری زاویه لنگ که توسط شفت انکودر اندازه‌گیری می‌شد؛ طول لنگ، طول شاتون پلانژر و روابط مثلثاتی (قضیه سینوس ها) بین این اجزا امکان پذیر می‌باشد (شکل ۷ و رابطه ۳).



شکل ۷- شماتیک لنگ و شاتون پلانژر دستگاه بسته‌بند.

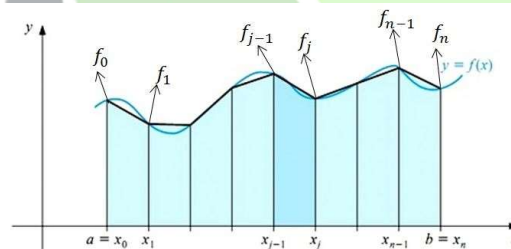
$$F_h = F \times \cos\alpha \quad (2)$$

$$\frac{L_{cr}}{\sin(180-\theta)} = \frac{r_c}{\sin\alpha} \rightarrow \alpha = \sin^{-1} \frac{L_{cr}}{r_c \sin(180-\theta)} \quad (3)$$

در روابط بالا  $F$  نیروی وارد بر پلانژر،  $F_h$  نیروی وارد بر پلانژر در راستای افق،  $\alpha$  زاویه شاتون پلانژر با راستای افق،  $\theta$  زاویه لنگ،  $r_c$  طول لنگ و  $L_{cr}$  طول شاتون پلانژر می‌باشد.

### محاسبه انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند

با محاسبه نیروی وارد بر پلانژر در راستای افق و جابجایی افقی پلانژر و با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی می‌توان مقدار انرژی لازم جهت پرس کردن در دستگاه بسته‌بند را به دست آورد (شکل ۸).  
برای محاسبه سطح زیر نمودار منحنی از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید.



شکل ۸- روش ذوزنقه‌ای برای محاسبه سطح زیر منحنی.

$$A = \sum_{j=1}^n (x_j - x_{j-1}) \times \left( \frac{f_j + f_{j-1}}{2} \right) \quad (4)$$

در رابطه ۴،  $A$  مساحت سطح زیر منحنی،  $x_j$  موقعیت لحظه‌ای پلانژر،  $f_j$  نیروی اندازه‌گیری شده توسط بارسنج در نقطه  $x_j$  و  $n$  تعداد نقاط ثبت شده توسط حسگرها می‌باشد.

### محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی

به دلیل اینکه اندازه‌گیری‌های مربوط به جابجایی پلانژر و نیروی وارد بر آن در راستای افق و به طبع آن اندازه‌گیری انرژی پرس، به صورت مستقیم نبوده و به صورت غیر مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند؛ با مشخص کردن عدم قطعیت هر یک از ابزارهای اندازه‌گیری، با استفاده از روش‌های خاص می‌توان میزان خطا و یا به عبارت بهتر عدم قطعیت هر یک از اندازه‌گیری‌های ذکر



شده را محاسبه نمود. در این تحقیق برای محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری‌های انجام شده از روش کلاین و مک کلین استفاده گردید (ملکیو دیبایی نیا، ۱۳۶۹). بر اساس این روش اگر تابع معلومی از متغیرهای مستقل  $x_1, x_2, \dots, x_n$  بوده، با فرض اینکه  $W_R$  عدم قطعیت نهایی و  $w_1, w_2, \dots, w_n$  عدم قطعیت متغیرهای مستقل باشد؛ عدم قطعیت نهایی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

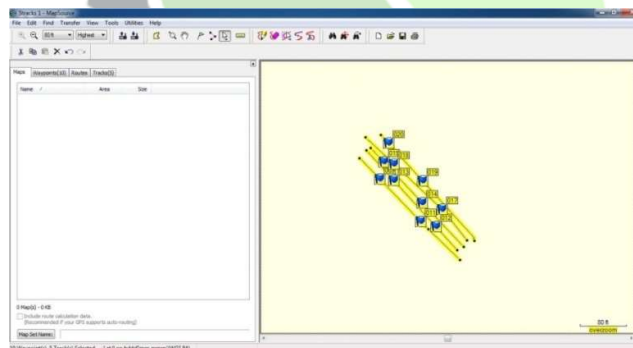
$$R=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (5)$$

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

عدم قطعیت هر یک از ابزارهای اندازه‌گیری با توجه به دفترچه راهنمای آن‌ها تعیین می‌گردد. پارسیج استفاده شده در این تحقیق دارای کلاس دقت C3 و عدم قطعیت ۳/۵ نیوتن می‌باشد. شفت انکودر استفاده شده در تحقیق برای اندازه‌گیری زاویه لنگ دارای عدم قطعیت ۰/۰۱۲۵۶ رادیان بوده و برای اندازه‌گیری شعاع لنگ و طول دسته پلانژر از یک متر فلزی با عدم قطعیت ۰/۰۰۱ متر استفاده شده است.

### سامانه مکان‌یابی جهانی

در اجرای آزمایش‌های مختلف انجام شده در این تحقیق از سامانه مکان‌یابی جهانی استفاده شد. این سامانه در تعیین و ثبت سرعت لحظه‌ای تراکتور، نمایش موقعیت و مسیر حرکت تراکتور و تعیین فواصل طی شده توسط تراکتور مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۹- مسیرهاست ثبت شده توسط GPS برای تهیه نقشه عملکرد محصول.

### تهیه نقشه عملکرد زمین زراعی

در مرحله بعدی آزمایش‌ها، برای تهیه نقشه عملکرد محصول مزرعه با استفاده از سامانه مکان‌یابی اقدام به برداشت محصول شد. دستگاه گیرنده مکان‌یابی مورد استفاده Garmin مدل 300 Colorado بود. این آزمایش در مزرعه یونجه ۱ ساله و در مساحتی در حدود ۱۵۰۰ متر مربع اجرا گردید. در این آزمایش‌ها مقدار محصول در نقاط مختلف و مشخصی از مزرعه به صورت تصادفی قبل از برداشت توسط ماشین بسته‌بند توزین شد و به ازاء هر نقطه توزین شده یک علامت توسط دستگاه مکان‌یاب گذاشته شد. در هنگام برداشت محصول دستگاه مکان‌یاب در حالت مسیریابی (Tracking) قرار داده شده و زمان دستگاه مکان‌یاب با زمان رایانه ذخیره داده‌های حسگرها همگام گردید و تمام جریات مسیر و حسگرها ثبت شد. با استخراج داده‌های مربوط به توزین نمونه

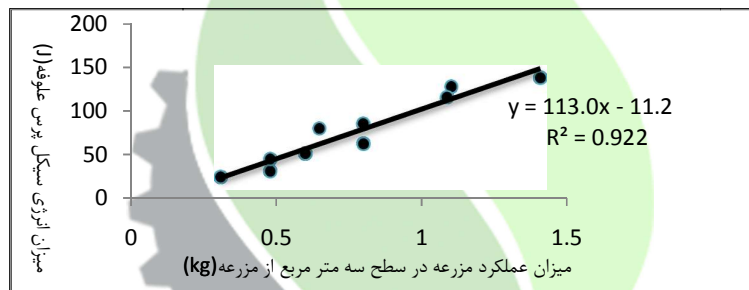




محصول نقاط قبل از برداشت و نیروی وارد بر پلانژر در آن نقاط، رابطه بین جرم محصول و میزان انرژی بسته‌بندی دستگاه بسته‌بند مشخص شد. با تلفیق داده‌های حاصل از حسگرهای نصب شده بر روی پلانژر و داده‌های مختصات مکانی در نرم‌افزار ArcGIS 10.1 به ترسیم نقشه عملکرد محصول یونجه به عنوان هدف نهایی این تحقیق پرداخته شد.

## نتایج و بحث

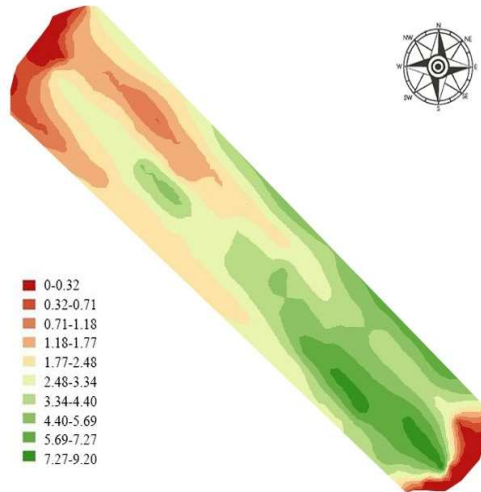
با تغییر حجم علوفه ورودی به کانال علوفه دستگاه بسته‌بند، نیروی پیک سیکل پرس و به طبع آن انرژی سیکل پرس تغییر می‌یابد. لذا از این خاصیت برای تهیه نقشه عملکرد مزرعه استفاده گردید. قبل از شروع برداشت علوفه توسط دستگاه بسته‌بند مجهز به سامانه سنجش انرژی، مقدار محصول در نقاط مختلف و مشخصی از مزرعه توزین شد و به ازاء هر نقطه توزین شده یک علامت توسط دستگاه مکان‌یاب گذاشته شد. پس از آن در هنگام برداشت علوفه دستگاه مکان‌یاب در حالت مسیریابی قرار داده شده و مختصات حرکت دستگاه بسته‌بند ثبت گردید. با محاسبه انرژی سیکل پرس در نقاط توزین علوفه قبل از برداشت، رابطه و همبستگی حجم علوفه ورودی به کانال علوفه و میزان انرژی سیکل پرس تعیین گردید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- رابطه بین انرژی سیکل پرس دستگاه بسته‌بند و میزان محصول.

نوار علوفه موجود در سطح مزرعه حاصل از برداشت علوفه توسط دستگاه سواتر با عرض کار سه متر بود. همچنین به ازاء یک متر پیشروی دستگاه بسته‌بند که دارای سرعت متوسط ۱ متر بر ثانیه بوده مختصات مکانی ثبت شده و انرژی هر سیکل پرس محاسبه گردید.

با واسنجی انرژی سیکل پرس به میزان محصول مزرعه با استفاده از رابطه به دست آمده از شکل ۹ و با تلفیق این داده‌ها با داده‌های مکانی حاصل از سامانه مکان‌یاب، وزن محصول علوفه در نقاط ثبت شده توسط سامانه مکان‌یاب جهانی مشخص گردید و با وارد کردن این داده‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10.1 نقشه عملکرد محصول مزرعه بر حسب تن بر هکتار تهیه گردید (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه عملکرد محصول مزرعه بر حسب تن بر هکتار.

### محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی

با توجه به رابطه ۴ و روش ذوزنقه‌ای محاسبه سطح زیر نمودار، اندازه‌گیری انرژی تابعی از اندازه‌گیری نیرو در موقعیت‌های متوالی پلانتر می‌باشد. با محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی با استفاده از رابطه ۶ حداکثر عدم قطعیت برابر  $146/56 \pm$  ژول و حداقل آن برابر  $12/1 \pm$  ژول می‌باشد. به دلیل ۵ متغیره بودن تابع عدم قطعیت، نمایش آن به صورت گرافیکی ممکن نمی‌باشد.

### منابع

۱. احمدی، ا.، م. ع. قضاوی، س. مینائی، و ع. م. برقی. ۱۳۸۹. طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه نیمه خودکار اندازه‌گیری موضعی مقدار محصول یونجه خشک ویژه دستگاه بسته‌بند علوفه. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. دوره ۴۱. شماره ۱. صفحه ۱۱-۱۶.
۲. لغوی، م. ۱۳۸۲. راهنمای کشاورزی دقیق برای متخصصین کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران. ۲۹۵ صفحه.
۳. ملکی، م.، و ب. دیبایی‌نیا. ۱۳۶۹. روش‌های اندازه‌گیری در مهندسی. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان، اصفهان. چاپ اول. ۷۷۴ صفحه.
4. Maguire, S. M., R. J. Godwin, M. J. O'Dogherty and K. Blackburn. 2007. A dynamic weighing system for determining individual square bale weights during harvesting. Biosystems Engineering. 98: 138-145.
5. Sirvastava, A. K., G. E. Georing and R. P. Rohrbach. 1993. Engineering Principle of Agricultural Machines. ASAE, textbox No. 6, ASAE. 601p.
6. Wild, K. and H. Auerhammer. 1999. A weighing system for local yield monitoring of forage crops in round balers. Computers and Electronics in Agriculture, 23 (2): 119-132.



## Construction of Alfalfa Yield Map using the Energy Assessing System of a Rectangular Hay Baler

Hossein Hoshmand, Graduate Student

Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Shiraz University, Shiraz, Iran  
Mohammad Loghavi, Professor  
Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Shiraz University, Shiraz, Iran

### Abstract

The most advanced part of precision agriculture technology is yield monitoring of grain and non grain crops. In this study, the horizontal force imparted on baling plunger and angular position of the plunger connecting rod were simultaneously measured by installing a load cell and a shaft encoder on connecting rod and plunger flywheel, respectively. The output signals of these sensors were processed in an electronic board and the output data was sent to a portable computer for monitoring and storage. Before baling the harvested alfalfa from the test field, random samples were hand collected and weighted to obtain a true measure of the yield variation along the entire field. Comparing the yield data with the pressing energy and angular position data indicated a good correlation between the throughput rate of the baler and the horizontal force imparted on the baler plunger. The estimated crop yield variations were geo-referenced by using a GPS receiver and the yield map of the test field was constructed.

**Keywords:** Alfalfa, Hay Baler, Energy Assessing System, Yield map.