

## تهیه نقشه عملکرد مزرعه با استفاده از سامانه سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی علوفه

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

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

### چکیده

امروزه با توجه به پیشرفت‌های علم الکترونیک و رایانه و ارتباط روزافزون این علم با سایر علوم، عرصه‌های نوین و گسترده‌ای برای ایجاد تحول فراروی بشر قرار گرفته است. از جمله این تحولات می‌توان به کشاورزی دقیق اشاره نمود. یکی از پیشرفته‌ترین بخش‌های این فن‌آوری مربوط به بخش پایش عملکرد محصول می‌باشد. در این بخش با بهره‌گیری از حسگرهای الکترونیکی نصب شده بر روی ماشین برداشت، جریان جرمی لحظه‌ای مواد برداشت شده به صورت بی‌درنگ در حین برداشت محصول قابل اندازه‌گیری می‌باشد. با ترکیب این داده‌ها با داده‌های مکانی حاصل از سیستم GPS، نقشه‌ی تغییرات میزان عملکرد محصول مزرعه قابل دستیابی می‌باشد. در این تحقیق با نصب یک بارسنج بر روی پلانجر دستگاه بسته‌بند برای اندازه‌گیری نیروی وارد بر پلانجر و یک شفت انکودر بر روی فلاپویل دستگاه برای تشخیص زاویه و میزان جابه‌جایی پلانجر در حین کار، میزان نیروی افقی وارد بر پلانجر و نیز جابه‌جایی آن هنگام فشردن علوفه اندازه‌گیری شد. با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- جابه‌جایی پلانجر، 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 نصب شده بر روی بسته‌بند 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 بسته‌بند مکعبی علوفه، سامانه سنجش انرژی، نقشه عملکرد مزرعه، یونجه

### مقدمه

امکان بهبود بخشد و بر این اساس به شناخت عوامل مؤثر بر عملکرد محصول بپردازد. بینش کشاورزی دقیق شامل به‌کارگیری برخی از ابزار پیشرفته ارزیابی شرایط مزرعه و کاربرد بذر، کود و مواد شیمیایی متناسب با نیاز می‌باشد. کشاورز می‌تواند با استفاده از فن‌آوری‌هایی چون سامانه مکان‌یابی جهانی، حسگرهای الکترونیکی، کنترل‌کننده‌ها و نرم افزارهای پیشرفته، تصویری تفصیلی از عملیات خود خلق نماید. مدیریت سطوح کوچک درون کشتزار به‌منظور کاهش کاربرد مواد شیمیایی و بهبود بهره‌وری، هدف روش‌های کشاورزی دقیق است. واضح است که امروزه با وجود کشاورزی در مقیاس وسیع، مدیریت مزرعه به‌صورت خاص مکانی و بوته به بوته به‌صورت مجزا در کشتزار بدون بهره‌گیری از فن‌آوری‌های پیشرفته الکترونیکی ناممکن است. فن‌آوری‌های پیشرفته الکترونیکی می‌تواند وجود تغییرپذیری درون مزرعه و در نتیجه کاربرد تجهیزات با نرخ متغیر<sup>۴</sup> 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

کشاورزی دقیق به مجموعه‌ی فعالیت‌هایی که در یک چرخه تولید زراعی اعم از عملیات قبل از کاشت تا مرحله برداشت محصول به‌صورت خاص مکانی<sup>۳</sup> انجام می‌گیرد، اطلاق می‌گردد؛ که در نهایت منجر به ارتقاء کیفیت و کمیت محصول و کاهش میزان کاربرد نهاده‌ها می‌گردد. اولین و یکی از پیشرفته‌ترین حلقه از فن‌آوری‌های مرتبط با علم کشاورزی دقیق مربوط به پایش عملکرد محصول می‌باشد (Morgan and Ess, 1997). در این فرآیند با بهره‌گیری از حسگرهای نصب شده بر روی ماشین‌های برداشت، جریان جرمی مواد برداشت شده به‌صورت 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

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

(Email: loghavi@shirazu.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

چرخش‌سنج‌های استفاده شده در سامانه و مقدار دوران محور چرخش‌سنج 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 (Ahmadi et al., 2010).

هدف از این پژوهش، طراحی و توسعه‌ی سامانه‌ای برای پایش عملکرد گیاه زراعی یونجه خشک با استفاده از سامانه‌ی سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی علفه بود.

## مواد و روش‌ها

### اندازه‌گیری انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند

این انرژی برابر با سطح زیر نمودار نیرو-جابه‌جایی پلانجر می‌باشد؛ بنابراین اندازه‌گیری انرژی مستلزم اندازه‌گیری میزان نیرو در جهت جابه‌جایی و جابه‌جایی پلانجر می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان نیرو از یک بارسنج جایگذاری شده بر روی شاتون پلانجر و برای اندازه‌گیری زاویه میل‌لنگ و میزان جابه‌جایی پلانجر 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 پلانجر دستگاه بسته‌بند به بارسنج

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



**شکل ۱** - بارسنج جایگذاری شده بر روی شاتون پلانجر بسته‌بند  
**Fig.1.** The load cell installed on the baler connecting rod

از آن جایی که خروجی بارسنج‌ها به صورت ولتاژ می‌باشد؛ برای تبدیل ولتاژ خروجی به نیرو، بارسنج نیازمند واسنجی می‌باشد که برای

دانه‌ای پژوهش‌های مختلفی به‌منظور تعیین جریان جرمی مواد صورت گرفته است که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به طراحی حسگرهای فتوالکتریک، چرخ پره‌ای و حسگر نیروی ضربه‌ای اشاره نمود (Auerhammer et al., 1994; Borgelt and Suddath, 1992; Chaplin et al., 2003; Perez-Munoz and Colvin, 1991; Vansichen and Baerdemaeker, 1996).

در تحقیقی به‌منظور آشکارسازی عملکرد علفه خشک یک بارسنج کششی بر روی مال‌بند و دو بارسنج مجهز به کرنش‌سنج‌های برشی بر روی اکسل‌های یک بسته‌بند استوانه‌ای جان دیر مدل ۵۵۰ نصب گردید. دلیل استفاده از بارسنج‌های برشی از بین بردن اثر تنش حاصل از گشتاور خمشی متأثر 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 به‌کار بردن فیلترهای پایین‌گذر و روش‌های هموارسازی داده‌ها، خطای ۱۰٪ در نتایج مشاهده شد (Wild and Auerhammer, 1999).

در پژوهشی در انگلستان به‌منظور توزین دینامیکی بسته‌های خروجی از یک ماشین بسته‌بند مکعبی بزرگ پس از توسعه یک مدل ریاضی، مدل‌های نیرویی را به زنجیرهای حامل سینی انتهایی ماشین متصل و بسته‌های در حال حرکت را وزن نمودند. رابطه بین خروجی مدل‌ها و وزن بسته‌ها که به‌صورت دستی انجام شد مبین رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۹۸ بود. همچنین توزین مستقیم بسته‌ها نشان داد وزن بیش از ۹۹٪ از بسته‌ها اختلافی کمتر از ۱۰٪ با وزن به‌دست آمده از خروجی مدل‌ها 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 مدل‌ها نداشته است (Maguire et al., 2007).

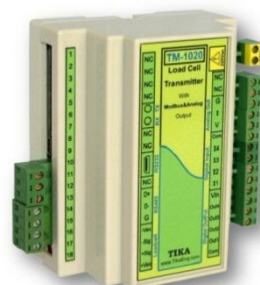
یک سامانه نیمه‌خودکار اندازه‌گیری موضعی مقدار محصول یونجه خشک توسط دستگاه بسته‌بند علفه طراحی، ساخت و مورد ارزیابی قرار گرفت (Ahmadi et al., 2010). در این پژوهش از داده‌های مکانی و داده‌های مقدار محصول برای تهیه نقشه عملکرد محصول استفاده گردید. موقعیت ماشین بسته‌بند با استفاده از سامانه مختصات محلی ثبت گردید و چون محصول ورودی به ماشین بسته‌بند مکعبی به‌صورت تدریجی به بسته در حال تشکیل اضافه می‌شد؛ برای به‌دست آوردن مقدار محصول از روش به‌دست آوردن حجم جزئی محصول یونجه خشک اضافه شده به بسته در حال تشکیل استفاده شد. پس از به‌دست آمدن داده‌های حجمی، تبدیل حجم محصول به جرم با استفاده از دو چگالی صورت گرفت که عبارت از؛ چگالی بسته در حال تشکیل و چگالی متوسط بسته‌های کل مزرعه بودند. بر مبنای نتایج به‌دست آمده رابطه بین خروجی

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 در شکل ۳ بخش بالا مربوط به وزن، ورودی دیجیتال و مقادیر مربوط به اندازه‌گیری و بخش پایین مربوط به تنظیمات و واسنجی دستگاه می‌باشد.

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

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

این کار از ترنس‌میتور (ساخت شرکت تیکا، مدل TM-1020) استفاده گردید. این دستگاه سیگنال خروجی بارسنج یا کرنش‌سنج را به صورت پل وتستون 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- ترنس‌میتور استفاده شده برای واسنجی بارسنج  
Fig.2. Transmitter used for load cell calibration

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



شکل ۳- صفحه اصلی نرم افزار TM-Setting  
Fig.3. Main window of TM-Setting software

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

در رابطه (۱)،  $X_p$  میزان جابه‌جایی پیستون (پلانجر) برحسب متر،  $\theta_c$  زاویه چرخش لنگ یا چرخش لنگر بسته‌بند برحسب درجه،  $L_{cr}$  طول پلانجر برحسب متر و  $r_c$  شعاع لنگ برحسب متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری زاویه چرخش لنگ بسته‌بند از یک شفت انکودر با وضوح ۵۰۰ پالس استفاده گردید. این حسگر بر روی فلاپیول ماشین بسته‌بند نصب گردید که در شکل ۵ نشان داده شده است.

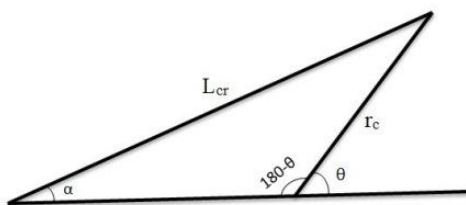


شکل ۴- طرحواره اتصال لنگ و پلانجر دستگاه بسته‌بند  
Fig.4. Schematic of the crank and plunger in baler

برای تغذیه مدار و حسگرها از باتری تراکتور، اینورتر و ترانس استفاده گردید.

### محاسبه نیروی افقی وارد بر پلانجر دستگاه بسته‌بند

محاسبه نیروی افقی وارد بر پلانجر مستلزم اندازه‌گیری نیروی وارد بر شاتون پلانجر و زاویه آن با راستای افق می‌باشد (رابطه ۲). اندازه‌گیری نیروی وارد بر پلانجر توسط بارسنج و تعیین زاویه شاتون پلانجر با راستای افق با اندازه‌گیری زاویه لنگ که توسط شفت انکودر اندازه‌گیری می‌شود، انجام می‌شود. طول لنگ، طول شاتون پلانجر با روابط مثلثاتی (قضیه سینوس‌ها) بین این اجزا به هم مرتبط می‌شوند (شکل ۷ و رابطه ۳).



شکل ۷- طرحواره لنگ و شاتون پلانجر دستگاه بسته‌بند

Fig.7. Schematic of crank and connecting rod of the baler's plunger

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

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

در روابط (۲) و (۳)،  $F$  نیروی وارد بر پلانجر،  $F_h$  نیروی وارد بر پلانجر در راستای افق،  $\alpha$  زاویه شاتون پلانجر با راستای افق،  $\theta$  زاویه لنگ،  $r_c$  طول لنگ و  $L_{cr}$  طول شاتون پلانجر می‌باشد.

### محاسبه انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند

با محاسبه نیروی وارد بر پلانجر در راستای افق و جابه‌جایی افقی پلانجر و با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- جابه‌جایی می‌توان مقدار انرژی لازم جهت پرس کردن در دستگاه بسته‌بند را به‌دست آورد (شکل ۸).

برای محاسبه سطح زیر نمودار منحنی از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید که در رابطه (۴) داده شده است.

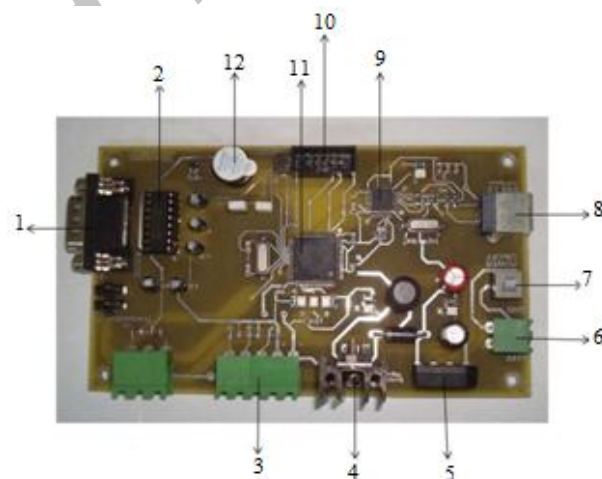


شکل ۵- نحوه اتصال شفت انکودر به چرخ لنگر بسته‌بند

Fig.5. Installation of the shaft encoder on the baler's flywheel

### جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها

از یک برد الکترونیکی برای جمع‌آوری 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 جمع‌آوری داده‌های حسگرها و

اجزای آن؛ (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) اختار دهنده صوتی

Fig.6. Electronic board for collecting the sensor data and its components, (1) RS232 port, (2) Max 232 chip, (3) Shaft encoder port, (4) Voltage regulator, (5) Diode bridge, (6) Input voltage port, (7) On-off key, (8) USB port, (9) Microcontroller of USB port, (10) Port of the main microcontroller programing, (11) Main microcontroller; (12) Buzzer

از متغیرهای مستقل  $x_1, x_2, \dots, x_n$  بوده، با فرض این که  $W_R$  عدم قطعیت نهایی و  $w_1, w_2, \dots, w_n$  عدم قطعیت متغیرهای مستقل باشد؛ عدم قطعیت نهایی با رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

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

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

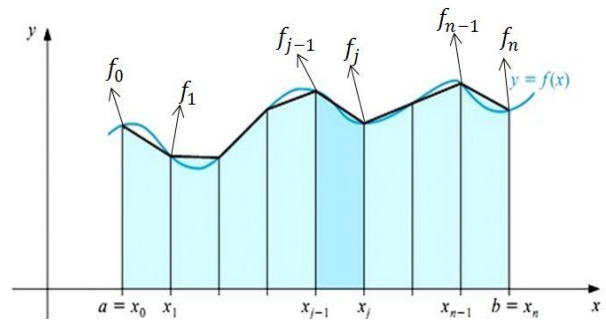
عدم قطعیت هر یک از ابزارهای اندازه‌گیری با توجه به دفترچه راهنمای آن‌ها تعیین می‌گردد. بارسنج استفاده شده در این تحقیق دارای کلاس دقت C3 و عدم قطعیت ۳/۵ نیوتن می‌باشد. شفت انکودر استفاده شده در تحقیق برای اندازه‌گیری زاویه لنگ دارای عدم قطعیت ۰/۱۲۵۶ رادیان بوده و برای اندازه‌گیری شعاع لنگ و طول دسته پلانجر 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.

#### 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 Colorado 300 بود.



شکل ۸- روش ذوزنقه‌ای برای محاسبه سطح زیر منحنی

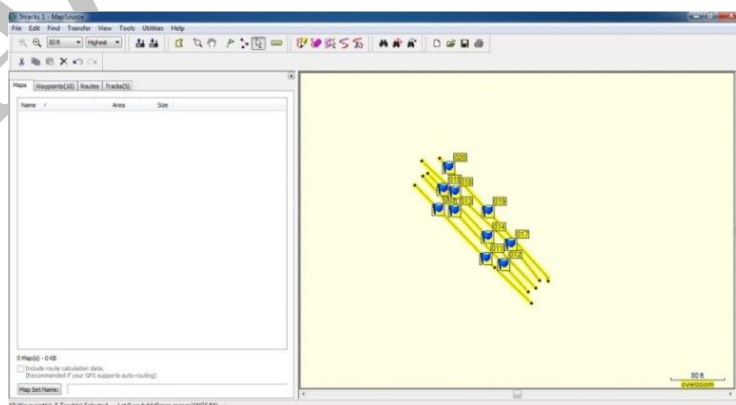
Fig.8. Trapezoid method for calculating the area under the curve

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

در رابطه (۴)،  $A$  مساحت سطح زیر منحنی،  $x_j$  موقعیت لحظه‌ای پلانجر،  $f_j$  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 این که اندازه‌گیری‌های مربوط به جابه‌جایی پلانجر 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 اندازه‌گیری‌های انجام شده از روش کلاین و مک کلین استفاده گردید (Holman, 1990). براساس این روش اگر  $R$  (رابطه ۵)، تابع معلومی



شکل ۹- مسیره‌های ثبت شده توسط GPS برای تهیه نقشه عملکرد محصول و نقاط توزین محصول

Fig.9. Tracks which registered with GPS for generation of the yield map and yield weighting points

نوار علوفه موجود در سطح مزرعه حاصل از برداشت علوفه توسط دستگاه سوانتر با عرض کار سه متر بود. همچنین به ازاء یک متر پیشروی دستگاه بسته‌بند که دارای سرعت متوسط ۱ متر بر ثانیه بود 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 نرم افزار ArcGIS 10.1 نقشه عملکرد محصول مزرعه بر حسب تن بر هکتار تهیه گردید (شکل ۱۱).

#### محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی

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

#### نتیجه‌گیری

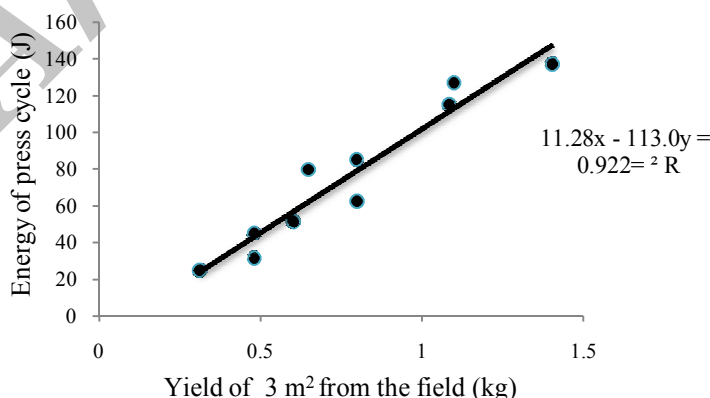
بین مقدار جرمی محصول مزرعه و میزان انرژی پرس نیز یک رابطه خطی با ضریب همبستگی ۹۶٪ به دست آمد. وجود این رابطه با همبستگی بالا تهیه نقشه عملکرد مزرعه با استفاده از میزان انرژی پرس را توجیه می‌کند.

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 جزئیات مسیر و حسگرها ثبت شد. با استخراج داده‌های مربوط به توزین نمونه محصول نقاط قبل از برداشت و نیروی وارد بر پلانجر 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 پلانجر و داده‌های مختصات مکانی در نرم افزار ArcGIS 10.1 به تولید نقشه عملکرد محصول یونجه به عنوان هدف نهایی این تحقیق پرداخته شد. روش درون‌یابی مورد استفاده در این نرم افزار برای تولید نقشه روش کریجینگ می‌باشد.

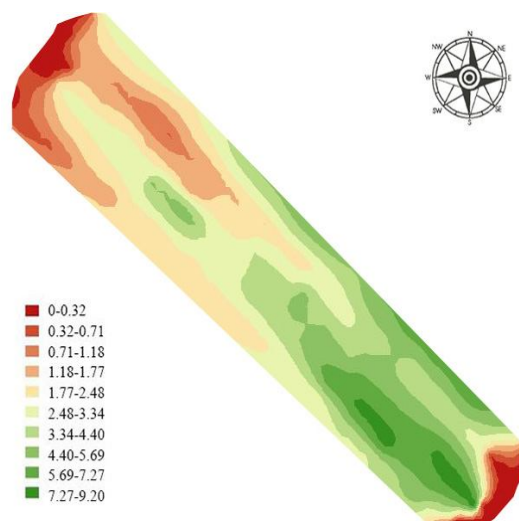
#### نتایج و بحث

با تغییر حجم علوفه ورودی به کانال علوفه دستگاه بسته‌بند، نیروی پیک سیکل پرس و به تبع آن انرژی سیکل پرس تغییر می‌یابد. لذا از این خاصیت برای تهیه نقشه عملکرد مزرعه استفاده 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

Fig.10. The relationship between the energy of press cycle and amount of pressed hay



شکل ۱۱- نقشه عملکرد محصول مزرعه برحسب تن بر هکتار

Fig.11. Yield map of the field (ton ha<sup>-1</sup>)

#### منابع

- Ahmadi, I., M. Ghazavi, S. Minaei, and A. Borghaee. 2010. Design, development and evaluation a semi- automated system for measuring the special positioning of hay alfalfa for baler machine. Iranian Journal of Biosystems Engineering 41 (1): 11-16. (In Farsi).
- Auerhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier, and K. Wild. 1994. GPS for yield mapping on combines. Computers and Electronics in Agriculture 11 (1): 53-68.
- Borgelt, S. C., and K. A. Suddath. 1992. Grain flow for in field yield mapping. ASAE Paper No. 92-1022, ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Chaplin, J., N. Hemming, and B. Hetchler. 2003. Comparison of an impact plate and torque based yield sensors. ASAE Paper No. 0313034, ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Holman, J. P. 1990. Experimental Methods for Engineers. 1<sup>st</sup> Edition, Translated by M. Maleki, and B. Dibainia, Academic Center of Education. Isfahan. (In Farsi).
- 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.
- Morgan, M., and D. Ess. 1997. The Precision-Farming Guide for Agriculturists. 1<sup>st</sup> Edition, Translated by M. Loghavi, Agricultural Research and Education Organization, Tehran, 295p. (In Farsi).
- Perez-Munoz, F., and T. S. Colvin. 1996. Continuous grain yield monitoring. Transactions of the ASAE 39 (3): 775-783.
- Sirvastava, A. K., G. E. Georing, and R. P. Rohrbach. 1993. Engineering principle of agricultural machines. ASAE, textbook No. 6, ASAE. 601p.
- Vansichen, R., and J. De Baerdemaeker. 1991. Continuous wheat yield measurements on a combine. Automated Agriculture for the 21st Century, Proceedings of the 1991 Symposium, St. Joseph. ASAE Publication, pp 346-355. Michigan.
- 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.