مجله مهندسی بیوسیستم ایران (41) 1، 1389 (16-11)

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه نیمه خودکار اندازه گیری موضعی مقدار محصول یونجه خشک ویژه دستگاه بسته بند علوفه

ایمان احمدی*[1] ، محمد علی قضاوی [2]، سعید مینائی [3] و علی محمد برقعی [4]

[1]استادیار رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان (اصفهان)، [4] استاد، مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران [2] استادیار، مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شهرکرد [3] دانشیار، مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: 1388/3/4- تاریخ تصویب: 1388/11/6)

چکیده

اندازه‌گیری موضعی مقدار محصول (پایش عملکرد محصول) یکی از ضروری‌ترین گام‌ها در اجرای کشاورزی دقیق می‌باشد که مورد استفاده آن در تهیه نقشه عملکرد گیاه زراعی است. در مورد تهیه نقشه عملکرد گیاهان علوفه‌ای نسبت به گیاهان دانه‌ای، تاکنون مطالعات کمتری انجام شده است، بنابراین در تحقیق حاضر ابزاری برای پایش عملکرد گیاه زراعی یونجه خشک روی ماشین بسته بند مکعبی کوچک توسعه یافته است. برای تهیه نقشه عملکرد گیاه زراعی دو سری داده مورد نیاز است، داده موقعیتی و داده مقدار محصول. در این تحقیق موقعیت ماشین بسته بند با استفاده از دستگاه مختصات محلی ثبت شد. چون محصول ورودی به ماشین بسته بند مکعبی به صورت تدریجی به بسته در حال تشکیل افزوده می‌شود، برای به دست آوردن مقدار محصول، از روش اندازه‌گیری 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 عبارتند 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 تعداد دوران محور چرخش سنج خطی بود (R^2>0.998). استفاده از چگالی هر بسته برای تبدیل داده‌های حجمی به جرمی در مقایسه با چگالی متوسط کل بسته‌ها خطای بخش اندازه‌گیری مقدار محصول را از 22/12٪ به 1/74٪ رساند. خطای سامانه محاسبه مختصات در اندازه‌گیری طول از سامانه GPS کمتر بود (4/01٪ در مقابل 14/27٪).

واژه‌های کلیدی: سامانه پایش عملکرد گیاه زراعی، بسته بند مکعبی، کشاورزی دقیق، چرخش سنج

مقدمه

اجرای مدیریت محصول به صورت موضعی، با اندازه‌گیری تغییرات مقدار محصول (پایش عملکرد گیاه زراعی) شروع می‌شود. سامانه‌های پایش عملکرد محصول دو نوع داده را اندازه‌گیری می‌کنند: مقدار محصول و موقعیت ماشین برداشت در مزرعه. مقدار محصول یا با اندازه‌گیری مستقیم جرم به دست می‌آید (روش وزنی) و یا با اندازه‌گیری حجم و تبدیل آن به جرم با استفاده از چگالی محصول عملی می‌شود (روش حجمی). روش حجمی به خوبی روی ماشین بسته بند مکعبی قابل اجرا می‌باشد. با اندازه‌گیری زاویه چرخش چرخ ستاره‌ای در فاصله زمانی بین دو نمونه برداری متوالی و با توجه به این که سطح مقطع کانال بسته‌بندی و شعاع چرخ ستاره‌ای ثابت می‌باشد، مقدار زاویه اندازه‌گیری شده را می‌توان به حجم محصول اضافه شده به بسته‌بند مرتبط کرد. از دهه قبل، توسعه سامانه‌های پایش گیاهان زراعی غیر دانه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. Lee et al. (2005) سامانه‌ای را برای پایش عملکرد گیاهان علوفه‌ای با نصب چهار مبدل نیرویی در چهارگوشه تریلی ساختند. تعیین موقعیت ماشین در این سامانه توسط گیرنده DGPS انجام شد و خطای کمتر از 5٪ از مقایسه مقدار کل محصول اندازه‌گیری شده توسط این سامانه با روش توزین باسکولی حاصل شد که با سامانه پایش توسعه یافته توسط Godwin et al. (1999) که بر اساس اندازه گیری نرخ تجمع جرم کار می کرد، قابل مقایسه می‌باشد.

به منظور پایش عملکرد محصولات علوفه‌ای، Wild & Auernhammer (1999) بسته‌بند استوانه ای را به سامانه اندازه‌گیری وزن مجهز کردند که متشکل از مبدل نیرویی در محل اتصال مالبندی و کرنش سنج‌هایی بر محور ماشین بود. در حالت استاتیکی خطای اندازه‌گیری مقدار محصول کمتر از 1٪ به دست آمد.

* نویسنده مسئول: i_ahmadi_m@yahoo.com

در برخی از منابع از روش تخمین مسافت [1] برای تعیین موقعیت ماشین برداشت در مزرعه استفاده شده است (Morgan & Ess, 1997; Ribbens, 2003). این روش تعیین مختصات به خوبی برای عملیات‌هایی که بر روی ردیف‌های موازی صورت می‌گیرد (مانند عملیات بسته‌بندی محصول یونجه خشک)، قابل کاربرد است. در این روش با فرض مختصات محلی (x_1,y_1) برای نقطه شروع عملیات بسته‌بندی و منطبق کردن مختصات x بر ردیف محصول درحال بسته بندی، می‌توان مختصات مربوط به هر نقطه را بر حسب مختصات نقطه قبل از آ ن به دست آورد. تنها متغیری که برای محاسبه مختصات با این روش باید اندازه‌گیری شود، فاصله طی شده توسط ماشین بسته‌بند بین دو نمونه‌برداری پشت سر هم می‌باشد. به این منظور می توان از یک چرخ پنجم استفاده کرد.

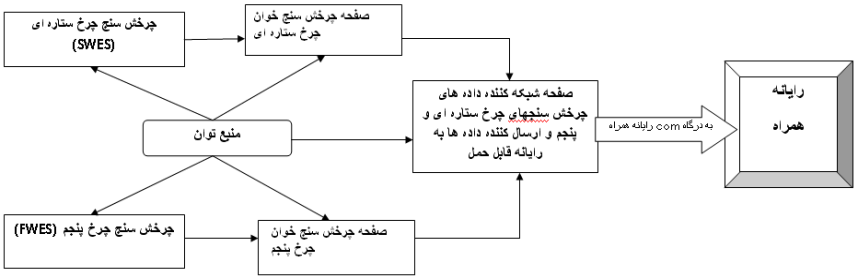
با وجود تحقیقات مورد اشاره، پژوهش‌های اندکی راجع به پایش عملکرد محصول به روش حجمی روی بسته‌بندهای مکعبی کوچک صورت گرفته است. بنابراین در این پژوهش هدف طراحی و توسعه سامانه‌ای برای پایش عملکرد گیاه زراعی یونجه خشک به روش حجمی روی ماشین بسته‌بند مکعبی کوچک بود. علاوه بر آن دقت این سامانه در اندازه‌گیری مقدار محصول در دو حالت استفاده از چگالی هر بسته و چگالی متوسط کل بسته‌ها برای تبدیل داده‌های حجمی به دست آمده از سامانه پایشگر به داده‌های جرمی و دقت سامانه در تعیین موقعیت ماشین بسته بند در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت.

1 . Dead Reckoning

مواد و روش‌ها

سخت افزار سامانه پایشگر عملکرد یونجه خشک به صورت موضعی

برای به دست آوردن داده‌های عملکردی و مختصاتی مورد نیاز در پایش عملکرد محصول یونجه خشک از تجهیزاتی استفاده شد که نمودار ارتباط سخت افزاری آن در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل1- نمودار ارتباط سخت افزار سامانه اندازه گیری مقدار محصول یونجه خشک به روش حجمی

بخش اندازه گیری مقدار محصول

همان طور که در مقدمه توضیح داده شد، یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقدار محصول، روش حجمی است. در این پژوهش و با اندازه‌گیری زاویه چرخش چرخ ستاره‌ای در فاصله زمانی بین دو نمونه برداری متوالی، مقدار زاویه اندازه‌گیری شده به حجم محصول اضافه شده به بسته بند ارتباط داده شد. برای این منظور از یک واحد اندازه‌گیری مقدار زاویه (چرخش سنج [2]) استفاده شد. چرخش سنج مورد استفاده، چرخش سنج نوری Autonics (INCREMENTAL TYPE) سری E30S با 400 پالس به ازاء هر دور چرخش محور بود.

تبدیل داده‌های حجمی مقدار محصول به جرمی با استفاده از چگالی بسته‌های یونجه خشک بسته‌بندی شده در دو حالت انجام شد: 1- استفاده از چگالی هر بسته برای تبدیل داده‌های حجمی به داده‌های جرمی مربوط به آن بسته و 2- استفاده از چگالی متوسط کل بسته‌ها.

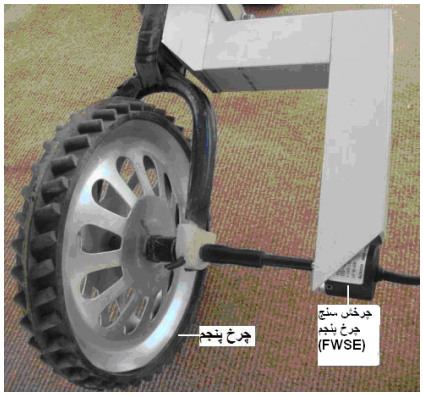
شکل 2- چرخش سنج چرخ ستاره‌ای و اتصال آن به محور چرخ ستاره‌ای

بخش تعیین مختصات نقاط اندازه گیری مقدار محصول

قبل از بسته‌بندی محصول توسط بسته بند، یونجه خشک را به صورت ردیف‌های موازی روی زمین قرار می‌دهند، بنابراین مختصات مورد نیاز برای سامانه پایش عملکرد محصول یونجه خشک را می‌توان با روش تخمین مسافت به دست آورد. برای این کار در تحقیق حاضر از یک چرخ پنجم استفاده شد. با ثبت زاویه چرخیده شده توسط چرخ پنجم بین دو نمونه‌برداری پشت سرهم، زاویه ثبت شده به فاصله بین دو نقطه مرتبط شد. برای

2 . Shaft Encoder

اندازه‌گیری و ثبت زاویه چرخیده شده توسط چرخ پنجم نیز یک واحد اندازه‌گیری زاویه (چرخش سنج) به محور چرخ پنجم متصل شد.



شکل 3- چرخش سنج چرخ پنجم و اتصال آن به محور چرخ

خواندن و ثبت داده‌ها توسط میکروکنترلر [1] و به صورت هماهنگ و با تواتر ثبت داده‌ای یک هرتز انجام شد. اجزای سخت افزار الکترونیکی مورد استفاده در شکل (4) نشان داده شده است.

شکل 4- سخت افزار الکترونیکی مورد استفاده در پایشگر ساخته شده

سپس داده‌های به دست آمده از چرخش سنج‌ها به رایانه قابل حمل انتقال داده شد که در آن داده‌ها در سه ستون یعنی ستون‌های چرخش سنج چرخ ستاره‌ای، چرخش سنج چرخ پنجم و زمان ذخیره شدند. رابطه بین حجم محصول ورودی و خروجی چرخش سنج چرخ ستاره‌ای، همچنین مسافت طی شده بین دو نمونه برداری پشت سر هم و خروجی چرخش سنج چرخ پنجم به صورت زیر است:

$$V(cm^3) = SWSE(rad) \times R_S(cm) \times A(cm^2) \quad (1)$$

$$D(cm) = FWSE(rad) \times R_F(cm) \quad (2)$$

که در آن V و D به ترتیب حجم محصول ورودی و مسافت طی شده بین دو نمونه برداری پشت سر هم، $SWSE$ و $FWSE$ خروجی چرخش سنج چرخ ستاره‌ای و خروجی چرخش سنج چرخ پنجم و R_S و A و R_F شعاع چرخ ستاره‌ای، سطح مقطع کانال بسته‌بندی و شعاع چرخ پنجم می باشد.

تنظیمات مورد نیاز، توسط کاربر و از طریق دکمه‌های پنجره نرم افزار صورت گرفت. یکی از دکمه‌های مهم در هنگام داده‌برداری، دکمه reset time می‌باشد. کار این دکمه صفر کردن لحظه‌ای داده ستون زمان می‌باشد که با این کار داده‌های حجمی و مسافتی مربوط به بسته‌های مختلف از فایل داده‌ای مشخص شدند. برای تبدیل داده‌های حجمی به جرمی، چگالی بسته‌های نهایی تشکیل شده به صورت دستی اندازه‌گیری شد و با ضرب حجم هر بسته در چگالی مربوطه، جرم بسته به دست آورده شد. تبدیل داده‌های حجمی به جرمی با استفاده از چگالی متوسط کل بسته‌ها نیز صورت گرفت و خطای اندازه گیری جرم با استفاده از دو نوع چگالی محاسبه شد. پس از ذخیره سازی داده‌ها در رایانه، مختصات (x,y) از داده چرخش سنج چرخ پنجم و حجم محصول (V) از داده چرخش سنج چرخ ستاره‌ای استحصال شد.

آزمایش‌های واسنجی سامانه ساخته شده

واسنجی بخش اندازه گیری مقدار محصول و مختصات

برای به دست آوردن معادله واسنجی چرخش سنج چرخ ستاره ای و چرخ پنجم، محور هر کدام از آنها از یک تا 10 دور چرخانده شد و خروجی چرخش سنج متناظر هر حالت ثبت و معادله واسنجی مربوط به دست آمد.

ارزیابی دقت بخش اندازه گیری مقدار محصول

برای تعیین دقت بخش اندازه‌گیری مقدار محصول از دو سطح مقدار محصول ردیف شده کم و زیاد استفاده شد. تبدیل داده‌های حجمی به جرمی با دو روش استفاده از چگالی هر بسته و چگالی متوسط کل بسته‌های حاصل از مزرعه انجام شد. پس تیمارهای این آزمایش نوع ردیف (در دو سطح ردیف کم حجم و پر حجم که برای ایجاد ردیف‌های محصول کم حجم و پرحجم، به ترتیب علوفه جمع شده از نوارهایی به عرض تقریبی سه و شش متر تبدیل به یک ردیف شد) و نوع چگالی مورد استفاده (در دو سطح چگالی هر بسته و چگالی متوسط کل بسته ها) و سرعت پیشروی (در دو سطح استفاده از دنده‌های 1 و 2 سنگین که برابر با سرعت‌های سه و شش کیلومتر در ساعت در دور مشخصه موتور) بودند و متغیر وابسته دقت اندازه‌گیری مقدار محصول بود. تراکتور مورد استفاده برای به

1 . AVR microcontroller

حرکت درآوردن بسته بند تراکتور JD3140 بود. این بررسی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (CRBD) و در سه تکرار صورت گرفت. برای محاسبه خطای استفاده از یک نوع چگالی بر سامانه اندازه گیری مقدار محصول، جرم هر بسته با استفاده از هر یک از دو چگالی به دست آمد و قدرمطلق اختلاف جرم به دست آمده بسته از جرم واقعی به عنوان خطا در نظر گرفته شد و با میانگین خطای بسته‌های هر ردیف تحلیل‌های بعدی انجام شد. برای تحلیل آماری، نرم‌افزار SPSS به کار رفت.

ارزیابی دقت بخش محاسبه مختصات

چون مبنای تعیین مختصات در این تحقیق اندازه‌گیری طول طی شده توسط ماشین در فاصله زمانی بین دو نمونه برداری متوالی می باشد، در این ارزیابی با دو روش، فواصل بین نقاط مشخصی اندازه گیری و دقت هر یک از این دو روش برآورد شد. روش اول استفاده از سامانه محاسبه مختصات (طراحی شده در این تحقیق) و روش دوم به کارگیری گیرنده GPS بود (گیرنده GPS مورد استفاده در این پژوهش Etrex Summit personal navigator – GARMIN corporation می‌باشد). چندین نقطه که فاصله بین آنها با استفاده از متر و به طور دقیق مشخص شده بود، در مزرعه علامت گذاری شدند و با هر یک از دو روش بالا و با استفاده از دو سرعت مختلف (در دو سطح دنده‌های یک و دو سنگین و برابر با سرعت‌های سه و شش کیلومتر در ساعت در دور مشخصه موتور)، فاصله طولی بین نقاط علامت گذاری شده به دست آورده شد. متغیر وابسته عبارت بود از خطای هر روش در اندازه گیری مختصات که با محاسبه اختلاف طول واقعی و طول به دست آمده از هر روش در نظر گرفته شد. این بررسی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (CRBD) و در سه تکرار اجرا شد و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

واسنجی بخش اندازه گیری مقدار محصول

نمودار حاصل از رسم خروجی چرخش سنج چرخ ستاره‌ای بر حسب تعداد دوران محور چرخ ستاره‌ای در شکل (5) رسم شده است.

با توجه به شکل (5) امکان ارتباط دادن حجم محصول در حال عبور از کانال بسته‌بندی به خروجی چرخش سنج چرخ ستاره‌ای به صورت خطی وجود دارد. با توجه به رابطه(1) و این که سطح مقطع کانال بسته‌بندی $1575\ cm^2$ و شعاع چرخ ستاره ای 10 cm می باشد، داریم:

(3) حجم محصول عبورکرده از کانال(cm^3)=15750×SWSE(rad)

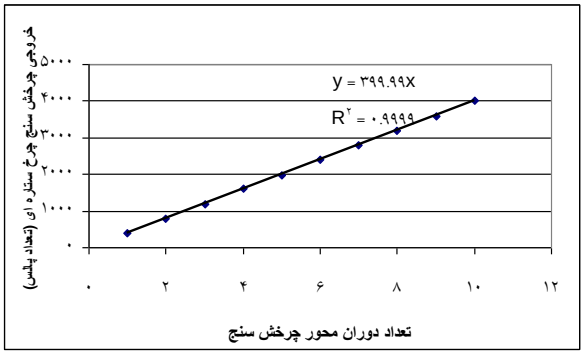
از سوی دیگر با توجه به معادله خط داریم:

$$SWSE(rad) = SWSE \times \frac{2\pi}{399/99} \quad \text{(تعداد پالس)} \qquad (4)$$

در نتیجه:

(5) حجم محصول عبورکرده از کانال(cm^3)=247/5× SWSE(تعداد پالس)

پس با داشتن خروجی چرخش سنج چرخ ستاره‌ای، حجم محصول در حال عبور از کانال قابل محاسبه است.



شکل 5- نمودار خروجی چرخش سنج چرخ ستاره‌ای بر حسب تعداد دوران محور چرخش سنج

واسنجی بخش اندازه گیری مختصات

به علت مشابهت سامانه حسگری بخش اندازه‌گیری مختصات به سامانه حسگری بخش اندازه‌گیری مقدار محصول، روش به کار رفته برای واسنجی بخش اندازه‌گیری مقدار محصول برای واسنجی بخش تعیین مختصات نیز به کار برده شد. با توجه به رابطه (2) امکان ارتباط مسافت طی شده توسط چرخ پنجم به خروجی چرخش سنج چرخ پنجم به صورت خطی وجود دارد.

(6) مسافت طی شده توسط چرخ پنجم (cm) =10× FWSE(rad)

از سوی دیگر با توجه به معادله خط داریم:

$$FWSE(rad) = FWSE \times \frac{2\pi}{400/01} \quad \text{(تعداد پالس)} \qquad (7)$$

در نتیجه:

(8)

مسافت طی شده توسط چرخ پنجم (cm) = 0/157× FWSE(تعداد پالس)

پس با داشتن خروجی چرخش سنج چرخ پنجم، مسافت طی شده توسط چرخ پنجم و پس از آن موقعیت بسته‌بند داخل مزرعه قابل محاسبه است. روش به کار رفته در این پژوهش برای واسنجی بخش اندازه‌گیری مقدار محصول کاملاً مشابه روش به کار رفته توسط Wild & Auernhammer (1999) برای واسنجی سامانه پایش عملکرد گیاهان علوفه‌ای به روش وزنی روی ماشین بسته بند استوانه‌ای می‌باشد. آنها پس از

ساخت سامانه، خروجی حسگر کرنش سنج (mV) را بر حسب وزن وارده به شاسی واسطی که کرنش سنج ها به آن چسبانده شده بودند (kg) به دست آوردند و نمودار خطی به داده‌های نقطه ای به دست آمده برازش دادند و از ضریب R^2 معادله خط به دست آمده به عنوان معیار کیفیت سامانه در زمان واسنجی استفاده کردند. ضریب R^2 به دست آمده در پژوهش مذکور برابر با 0/9999 بود که با نتایج حاصل از این پژوهش قابل مقایسه می‌باشد.

تاثیر چگالی بسته‌ها بر دقت بخش اندازه‌گیری مقدار محصول

اثر تیمارهای نوع چگالی مورد استفاده، سرعت پیشروی و حجم ردیف بر خطای اندازه‌گیری جرم بسته‌های علوفه در جدول (1) و مقایسه میانگین‌های این خطا در اثر تیمارهای مذکور در جدول (2) نشان داده شده‌اند.

جدول 1- خلاصه تجزیه واریانس خطای اندازه گیری جرم بسته های علوفه در اثر تیمارهای نوع چگالی، سرعت پیشروی و حجم ردیف

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات: خطا در اندازه گیری جرم بسته های علوفه
بلوک	2	9/921^{ns}
نوع چگالی	1	2493**
سرعت پیشروی	1	1/64^{ns}
حجم ردیف	1	3/03^{ns}
نوع چگالی × سرعت پیشروی	1	0/928^{ns}
نوع چگالی × حجم ردیف	1	0/1^{ns}
سرعت پیشروی × حجم ردیف	1	23/2^{ns}
نوع چگالی× سرعت پیشروی × حجم ردیف	1	20/535^{ns}
خطا	14	5/974
C.V.		45

* معنی دار در سطح 5 درصد ns غیر معنی دار (p>0/05)
** معنی دار در سطح 1 درصد C.V. ضریب تغییرات

جدول 2- میانگین* خطای اندازه گیری جرم بسته های علوفه برای دو نوع چگالی، دو سرعت پیشروی و دو حجم ردیف علوفه

عامل آزمایش	خطا در اندازه گیری جرم بسته های علوفه (٪)
نوع چگالی مورد استفاده	
استفاده از چگالی هر بسته	1/74 a
استفاده از چگالی متوسط کل بسته ها	22/12b
سرعت پیشروی	
استفاده از دنده 1 سنگین	12/19a
استفاده از دنده 2 سنگین	11/67a
حجم ردیف	
کم	11/57a
زیاد	12/28a

*میانگین ها برای هر عامل آزمایشی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال 1درصد، اختلاف معنی داری ندارند.

همان طور که در جدول (1) مشاهده می‌شود، نوع چگالی مورد استفاده بر خطای اندازه‌گیری جرم بسته‌های علوفه به صورت معنی‌داری موثر است. با توجه به جدول (2)، استفاده از چگالی هر بسته برای تبدیل داده‌های حجمی به جرمی آن بسته نسبت به استفاده از چگالی متوسط کل بسته‌ها برای تبدیل تمام داده‌های حجمی به جرمی، خطای اندازه‌گیری جرم علوفه را از 22/12٪ به 1/74٪ رسانده است. همچنین تیمارهای سرعت پیشروی و حجم ردیف‌های علوفه ورودی به ماشین بسته‌بند در سطوح مورد آزمون اثر معنی داری بر مقدار خطا در اندازه گیری جرم بسته‌ها نداشتند، در نتیجه هنگام استفاده از این سامانه از هر کدام از سرعت‌ها و حجم ردیف‌های مورد اشاره برای بسته‌بندی محصول می‌توان استفاده کرد بدون اینکه اثری بر دقت بخش اندازه‌گیری مقدار محصول داشته باشد.

Marchant et al. (2002) نیز با توجه به متغیر بودن چگالی بسته‌های علوفه حاصل از ماشین بسته بند مکعبی بزرگ با استفاده از سامانه هیدرولیکی ثابت نگهدارنده چگالی بسته‌ها، اثر این عامل در اندازه گیری مقدار علوفه را حذف کردند.

تاثیر اندازه‌گیری طول بر دقت بخش محاسبه مختصات

اثر تیمارهای سرعت پیشروی، طول مسیر و روش مورد استفاده بر خطای اندازه گیری طول و مقایسه میانگین های این خطا در اثر تیمارهای مذکور به ترتیب در جداول (3)و (4) نشان داده شده اند.

جدول 3- خلاصه تجزیه واریانس مقدار خطا در اندازه گیری طول

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات: خطا در اندازه گیری طول
بلوک	2	19/7 ^{ns}
روش مورد استفاده در اندازه گیری طول	1	948/1**
سرعت پیشروی	1	63/3^{ns}
طول مسیر	2	72/7*
روش × سرعت	1	1/6 ^{ns}
روش × طول مسیر	2	77/8**
سرعت × طول مسیر	2	21/56 ^{ns}
روش × سرعت × طول مسیر	2	13/9 ^{ns}
خطا	22	10/5
C.V.		37

* معنی دار در سطح 5 درصد ns غیر معنی دار (p>0/05)
** معنی دار در سطح 1 درصد C.V. ضریب تغییرات

با توجه به جدول های (3) و (4) می‌توان به نکات زیر رسید:

1- روش مورد استفاده در این تحقیق نسبت به استفاده از GPS باعث کاهش خطای میانگین از 14/27٪ به 4/01٪ شده است، بنابراین می‌توان از این سامانه در محاسبه مختصات استفاده کرد.

2- بر خلاف تصور اولیه، افزایش سرعت پیشروی باعث کاهش دقت بخش اندازه‌گیری مقدار محصول نشد. به بیان دیگر افزایش لغزش چرخ پنجم در هنگام استفاده از دنده 2 نسبت به دنده 1 به اندازه‌ای نیست که نیازی به اضافه کردن وزنه بیشتر به چرخ پنجم در هنگام استفاده از دنده 2 نسبت به دنده 1 باشد. از سوی دیگر همان گونه که در جدول (3) مشخص است برهمکنش روش اندازه‌گیری طول و طول مسیر در سطح احتمال 1٪ بر خطای اندازه‌گیری طول موثر می باشد. در جدول (5) این تاثیر نشان داده شده است:

جدول 4- میانگین* خطا در اندازه گیری طول برای دو روش مورد استفاده در اندازه گیری طول، دو سرعت پیشروی و سه طول مورد استفاده

عامل آزمایش	خطا در اندازه گیری طول (٪)
روش مورد استفاده در اندازه گیری طول	
GPS	14/27 a
سامانه به کاررفته در این تحقیق	4/01b
سرعت پیشروی	
استفاده از دنده 1 سنگین	7/8a
استفاده از دنده 2 سنگین	10/4a
طول مسیر	
10 متر	11/4a
50 متر	9/4ab
100متر	6/5b

* میانگین ها برای هر عامل آزمایشی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال 1درصد اختلاف معنی داری ندارند

همان گونه که مشاهده می‌شود افزایش طول مسیر باعث افزایش دقت سامانه GPS در اندازه‌گیری طول شد اما تاثیری بر دقت سامانه طراحی شده در این تحقیق نداشت. در مقایسه با روش محاسبه مختصات به کار رفته در این پژوهش اکثر محققین برای محاسبه داده مختصاتی سامانه پایش عملکرد از سامانه DGPS استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به Godwin et al. (1999) و Lee et al. (2005) اشاره کرد. در مورد سامانه‌های اندازه‌گیری مختصات بر مبنای DGPS، دقت سامانه در محدوده یک متر بود اما پژوهشگران بر این مطلب نیز تاکید کرده‌اند که دریافت نشدن سیگنال‌های ماهواره‌ای در بعضی مواقع مشکلاتی را ایجاد کرده است.

جدول 5- برهمکنش* اثر روش اندازه گیری طول و طول مسیر بر خطای اندازه گیری طول (بر حسب درصد)

روش اندازه گیری طول	طول مسیر (m)		
	10	50	100
GPS	18/8d	15 c	8/9 b
استفاده از سامانه طراحی شده	4 a	3/8 a	4/1a

* میانگین ها در کل جدول که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال 1درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند

نتیجه گیری کلی

1- چون دقت سامانه با استفاده از چگالی هر بسته برای تبدیل داده‌های حجمی به جرمی نسبت به استفاده از چگالی متوسط کل بسته‌ها بالاتر بود، برای تکمیل سامانه پایشگر عملکرد گیاه زراعی و خودکار شدن کامل آن باید سامانه اندازه‌گیری چگالی روی ماشین بسته بند در نظر گرفته شود.

2- افزایش طول مسیر باعث افزایش دقت سامانه GPS در اندازه گیری طول شد اما تاثیری بر دقت سامانه طراحی شده در این تحقیق نداشت. این پدیده احتمالاً به این صورت قابل توجیه است که در طول مسیرهای بالاتر خطای ثابت سامانه GPS بر طول بیشتر تقسیم شده و این امر باعث افزایش دقت سامانه شده است.

REFERENCES

Godwin, R. J., Wheeler, P. N., O'Dogherty, M. J., Watt, C. D. & Richards, T. (1999). Cumulative mass determination for yield maps of non-grain crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23, 85-101.

Lee W. S., Schueller J. K. & Burks T. F. (2005). Wagon-based silage yield mapping system. *Agricultural engineering international: the CIGR E-Journal*. Manuscript IT 05 003.

Marchant, B. P, Scarlett, A. J., Spencer, D.S., Semple, D. A. & Marchant, J. A. (2002). Using acoustic emissions to monitor crop throughput of a large square baler. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 33-54.

Morgan, M. & Ess, D. (1997). *The precision farming-guide for agriculturalists*. Deere and company. Moline, Illinois.

Ribbens, W. B. (2003). *Understanding automotive electronics*. (6th ed.). An imprint of Elsevier science.

Wild, K. & Auernhammer, H. (1999). A weighing system for local yield monitoring of forage crops in round balers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23, 119-132.