

پهنه‌بندی عملکرد محصول در یک باغ پسته به همراه ارزیابی سامانه سنجش طراحی شده در برداشت دستی (مطالعه موردی: منطقه منزل آباد شهرستان شهراباک)

ولی‌اله اسدی^۱ و حسین مقصودی^{۲*}

چکیده

کشاورزی دقیق با به دست آوردن خواص متغیر خاک و محصول، تهیه نقشه، تحلیل متغیرها و پذیرش روش‌های مناسب مدیریت، منجر به استفاده بهینه از نهاده‌ها و افزایش عملکرد و همچنین کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی می‌شود. از این‌رو گام نخست در اجرای کشاورزی دقیق رسیدن به شناخت کافی در مورد مقدار عملکرد محصول است. در این پژوهش، به دلیل کمبود ابزار مورد نیاز، ابتدا سامانه سنجش عملکرد محصول پسته در برداشت دستی ساخته شده و سپس در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعه‌ی انجام شده فاکتورهای متغیر، تعداد مهار و میزان ارتفاع مخزن است که تأثیر آن بر وزن‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار آماری SPSS بررسی شد. تعداد مهار، در سه سطح ۲، ۳ و ۴ عدد مهار و ارتفاع مخزن در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار بوده، ولی اثر تعداد مهار بر توزین محصول در مخزن بی‌تأثیر بود، لذا به منظور ایجاد تعادل بیشتر، از چهار مهار استفاده شد. همچنین با ارتفاع مخزن در سطح ۲۰ سانتی‌متر، بهترین نتیجه به دست آمد و بالاترین میزان خطای بارسنج ۳/۰۶ درصد بود. پس از انجام آزمون‌های آزمایشگاهی، با انتقال سامانه ساخته شده به یک باغ پسته در روستای منزل‌آباد واقع در جنوب شهرستان شهراباک، داده‌های وزنی به همراه موقعیت مکانی هر درخت پسته (توسط جی‌پی‌اس) ثبت شد. به منظور درون‌یابی، از روش‌های IDW، کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و کریجینگ عمومی استفاده شده که روش کریجینگ معمولی به دلیل RMSE کمتر (۱۱۶۰/۸۹ kg/ha)، به‌عنوان بهترین روش معرفی شد. در آخر نیز نقشه عملکرد محصول با روش کریجینگ معمولی در نرم‌افزار GIS تهیه شد که در کنار سایر داده‌ها به‌عنوان یک نسخه تجویزی به‌منظور مدیریت بهتر باغ مربوطه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پسته، درون‌یابی، سنجش عملکرد، کشاورزی دقیق، GIS.

ارجاع: اسدی و. و مقصودی ح. ۱۳۹۹. پهنه‌بندی عملکرد محصول در یک باغ پسته به همراه ارزیابی سامانه سنجش طراحی شده در برداشت دستی (مطالعه موردی: منطقه منزل‌آباد شهرستان شهراباک). نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۹(۱): ۵۷-۶۷.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۲- استادیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

* نویسنده مسئول: h.maghsoodi@uk.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰

مقدمه

کشاورزی دقیق سیستمی است که تولیدکنندگان محصولات کشاورزی به‌وسیله آن می‌توانند تغییرات و غیریکنواختی‌های داخل مزرعه را شناسایی کنند و با مدیریت این تغییرات در جهت افزایش محصولات زراعی و افزایش بهره‌وری گام بردارند. به بیان دیگر کشاورزی دقیق یک راهبرد مدیریتی است که جزییات و اطلاعات مربوط به هر قسمت از مزرعه را به‌کار گرفته و مدیریت دقیقی بر نهاده‌ها اعمال می‌کند. در این نوع سیستم اطلاعات ویژه نوع خاک و کیفیت تولید هر بخش کوچک از مزرعه جمع‌آوری شده و مقدار نهاده متناسب با آن بخش به‌صورت بهینه به‌کار گرفته می‌شود.

یکی از اجزای اصلی کشاورزی دقیق، سنجش عملکرد محصولات کشاورزی است، برای اجرای موفقیت‌آمیز در سنجش عملکرد، اطلاعات عملکرد باید دارای دقت کافی باشد، زیرا این اطلاعات مقدار تنوع عملکرد را در یک مزرعه نشان می‌دهند. سنجش عملکرد در واقع فرایند اندازه‌گیری عملکرد محصول از یک مکان مشخص و ادغام آن با اطلاعات موقعیت به دست آمده به‌وسیله GPS است. سامانه سنجش عملکرد متشکل از یک یا چندین حسگر جریان حجمی یا جرمی است. بسته به نوع این حسگرها، اندازه‌گیری حجم، جرم واقعی یا وزن میوه انجام می‌شود. سنجش عملکرد، میزان عملکرد را با تقسیم جرم محصول بر سطح برداشت شده در یک دستگاه برداشت مکانیکی برای یک زمان معین، محاسبه می‌کند.

سامانه سنجش عملکرد برای محصولات دانه‌ای به‌صورت تجاری در دسترس هستند اما برای محصولات خاص به تعداد بسیار کمی موجود هستند. از تنگناهای اصلی برای استفاده از فناوری و مدیریت کشاورزی دقیق در محصولات خاص، عدم وجود یک سیستم سنجش عملکرد است. تنوع زیاد در نوع و روش برداشت محصول و همچنین بازار فروش کوچک‌تر در مقایسه با محصولات دانه‌ای، موجب تمایل کمتر شرکت‌های تجاری برای سرمایه‌گذاری در توسعه سیستم‌های سنجش عملکرد برای محصولات خاص شده است.

اندازه‌گیری مقدار عملکرد محصول نهایی یکی از مهم‌ترین اطلاعاتی است که یک تولیدکننده می‌تواند داشته‌باشد. سال‌هاست که تولیدکنندگان غلات به‌پیشگر عملکرد دسترسی دارند (Al-Mahasneh & Colvin, 2000) در

حالی که تولیدکنندگان برخی محصولات دیگر مانند پنبه و یونجه به‌دلیل سختی اندازه‌گیری دقیق وزن و میزان رطوبت محصول، به‌پیشگر عملکرد دسترسی ندارند (Paxton *et al.*, 2011). بیشترین تحقیقات به‌منظور سنجش عملکرد محصول در کشاورزی دقیق روی غلات و محصولات دانه‌ای صورت گرفته‌است که می‌توان به حسگرهای جریان جرم یا حجم اشاره کرد (kim *et al.*, 2016). اندازه‌گیری پیوسته وزن محصول در ماشین برداشت گوجه‌فرنگی نمونه‌ای از اندازه‌گیری نرخ جریان جرمی است (Pelletier & Upadhyaya, 1999). در پژوهشی عملکرد چغندرقد با به‌کارگیری صفحه توزین که توسط بارسنج حمایت می‌شد، مورد پایش قرارگرفت و بیشینه خطای اندازه‌گیری در مزرعه ۶/۴ درصد اعلام شده است

(Magalhães & Cerri, 2006). در مطالعه‌ای دیگر نیز سامانه‌ای برای برداشت‌کننده چغندرقد معرفی شده و خطایی به بزرگی ۸٪ در ارزیابی مزرعه‌ای گزارش شد (Molin & Menegatti, 2004). در پژوهشی که عملکرد محصول چغندرقد با استفاده از پیشگر جرمی بررسی شده است، سامانه‌ای طراحی و ساخته شد که قادر بود به‌صورت لحظه‌ای میزان عملکرد وزنی چغندرقد را اندازه‌گیری کند. سکوی توزین در این کار بیرون شاسی بالابر، و بر روی نوار نقاله پایینی یک کمباین کششی چغندرقد ساخت شرکت گارفورد انگلستان نصب شد. مقدار خطای کلی این سامانه تنها حدود ۲٪ بیشتر از مقدار واقعی به دست آمد (Bagherpour *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای دیگر نیز، روش جدیدی برای تعیین عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای بر مبنای اندازه‌حرکت حاصل از برخورد مواد خردشده، به یک دریچه لولایی مجهز به حسگر نصب شده در دهانه خروجی چاپر معرفی شد و نتایج حاصل از واسنجی سامانه مربوطه در شرایط مختلف دبی جرمی نشان داد که همبستگی مناسبی بین دوران صفحه حسگر و دبی لحظه‌ای محصول وجود دارد (Maharlooei *et al.*, 2008).

روش دیگر برای اندازه‌گیری جریان جرمی، روش توزین بسته‌ای است، در این روش جریان پیوسته‌ای از مواد درون محفظه‌ها جمع‌آوری و سپس وزن هر محفظه (دسته) قبل از تخلیه به درون کامیون اندازه‌گیری می‌شود. در پژوهش‌های دیگری روش‌هایی برای توسعه و بهبود

داشتن RMSE کمتر و R^2 بیشتر نسبت به روش‌های کریجینگ معمولی^۲، و اسپس‌لاین^۳، به‌عنوان روش مناسب برای تهیه نقشه برگزیده شد (Azimi et al., 2017). نتایج به دست آمده از پژوهشی که در زمینه پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی در استان کرمان انجام گرفت نشان داد که روش کریجینگ از بین سه روش کریجینگ، کوکریجینگ^۴ و معکوس فاصله^۵، از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است (Beheshti-Rad, 2014). نتایج حاصل از مطالعه‌ای دیگر نشان می‌دهد که از بین روش کریجینگ و معکوس فاصله، روش معکوس فاصله با کمترین مقدار RMSE، روش مناسب‌تری برای درون‌یابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی است (Ghezelbash et al., 2016). به‌منظور پایش و سنجش خشک‌سالی در استان گلستان در پژوهشی از روش‌های درون‌یابی IDW و Kriging استفاده شده است و با ارزیابی مقدار RMSE به دست آمده این نتیجه حاصل شده است که روش کریجینگ، روش قابل قبول‌تری است (Eivazi et al., 2009).

مهمترین محور کشاورزی دقیق، شناخت دقیق مزرعه در نقاط مختلف آن است، به‌طوری که بتوان زمین زراعی را آسیب‌شناسی نموده و متناسب با شرایط نقاط مختلف زمین در جهت اصلاح آن گام برداشت. به‌منظور آسیب‌شناسی مزرعه لازم است در مرحله برداشت، وضعیت عملکرد آن در نقاط مختلف به دقت شناسایی شده و به‌عبارتی نقشه عملکرد مزرعه ترسیم گردد.

پسته به‌عنوان اولین محصول صادراتی غیرنفتی ایران و به‌عنوان یک محصول استراتژیک از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است. لذا با استفاده از سنجش عملکرد این محصول (اندازه‌گیری مقدار محصول در واحد سطح) کمک شایانی به کشاورزان پسته‌دار در زمینه مدیریت دقیق‌تر باغ می‌توان نمود. سنجش عملکرد به‌صورت مکانیزه نیازمند استفاده از ماشین‌های تخصصی برداشت پسته است؛ با توجه به بررسی کارهای انجام شده در آشکارسازی عملکرد محصول در محصولات دست‌چین و به‌دلیل مشکلاتی چون نامنظم بودن فواصل درختان روی ردیف در کشت‌های سنتی، عدم امکان برداشت مکانیزه محصول پسته در ایران، تنوع در ارقام محصول، کوچک

سنجش عملکرد دسته‌ای گوجه‌فرنگی ارائه شده است، که پایشگر دسته‌ای در انتهای ماشین برداشت محصول نصب شده و چهار بارسنج به طور پیوسته وزن محصول درون سطل را اندازه‌گیری می‌کردند. ارزیابی‌های مزرعه‌ای همبستگی بالایی را بین خروجی حاصل از اندازه‌گیری پایشگر عملکرد و وزن واقعی گوجه‌های برداشت شده نشان داد ($R^2=0/998$) (Abidine et al., 2003).

برای پسته نیز روش مشابهی از پایشگر عملکرد انجام شده است. این پایشگر عملکرد بر روی یک برداشت‌کننده پسته در شرایط آزمایشگاهی نصب شده و مورد آزمایش قرار گرفت. ضریب تبیین بین مقادیر به دست آمده و مقادیر واقعی ۹۷٪ گزارش شده است (Rosa et al., 2011).

ساخت سیستم اندازه‌گیری وزن به روش دسته‌ای در مطالعه‌ی دیگری انجام شده است و برای اندازه‌گیری وزن غده‌های سیر در شرایط آزمایشگاهی به‌صورت استاتیکی آزمایش شد. فاکتورهای متغیر در این آزمایش دور موتور، وقفه زمانی و کسر وقفه زمانی بود. خطای اندازه‌گیری ۱/۹۴٪ و ۹۴/۷٪ R^2 در این آزمایش‌ها نشان‌دهنده عملکرد مناسب دستگاه توزین سیر بود (Sadeghi et al., 2016).

درون‌یابی فرایند تخمین نقاط مجهول توسط نقاط معلوم است. جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی از این روش استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری یا برداشت مکانی داده‌ها، پدیده‌های طبیعی را در محیط GIS شکل می‌دهند. دو روش برای درون‌یابی وجود دارد. یک روش IDW^۱ است که از روش‌های درون‌یابی قطعی یا جبری است و برای مناطقی با پستی و بلندی زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش محاسبه نقاط مجهول از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم به دست می‌آید. روش دیگر روش کریجینگ است که یکی از روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری است. این روش مهمترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولیدشده از این روش، سطح بسیار دقیقی را نمایش می‌دهد. این روش در مورد مناطق کوهستانی بهترین و دقیق‌ترین خروجی را تولید می‌کند.

در پژوهشی که به‌منظور پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در استان خراسان رضوی انجام گرفت روش IDW به‌دلیل

2- Ordinary Kriging

3- Spline

4- Co-Kriging

5- IDW

1- Inverse Distance Weighted

مخزن و بارسنج از مهارکش استفاده‌شد. مهارکش از یک سمت به بارسنج و از سمت دیگر به قلاب گوشه مخزن متصل است و مخزن به‌وسیله چهار عدد مهارکش از انتهای بارسنج به‌صورت شناور قرار دارد. به‌دلیل وجود قابلیت تغییر طول، با استفاده از این نوع مهارکش موقعیت مخزن نیز قابل تغییر است. صفحه‌ی نگهدارنده که در مرکز دارای سوراخ است، روی شاسی عمودی قرار گرفت و بارسنج به‌وسیله پیچ و مهره روی این صفحه تثبیت شد. از آنجایی که برای رسیدن به دقت قابل قبول بایستی بارسنج در موقعیت کاملاً عمودی قرار گیرد، لذا این صفحه باید در حالت کاملاً تراز قرار می‌گرفت، که با استفاده از یک تراز این عمل انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه سنجش عملکرد محصول پسته در برداشت دستی

سامانه پیشگر عملکرد پسته با استفاده از یک بارسنج S شکل مدل TCLZ-NA ساخت شرکت Tokyo Sokki Kenkyujo کشور ژاپن با ظرفیت ۱ kN و حساسیت ظاهری ۲ mV/V ساخته‌شد. بارسنج روی شاسی دستگاه سامانه پیشگر به‌طوری که مخزن از آن به‌صورت آویزان قرارگیرد، نصب گردید. برای انتقال داده‌ها در این سامانه از ترانس‌میتور ساخت شرکت تیکا ایران مدل ۱۰۲۰ استفاده شد. این ماژول، سیگنال یک کرنش‌سنج یا بارسنج را به‌صورت چهار سیمه در ورودی دریافت کرده و در خروجی به شکل سریال با پروتکل مدباس و یا به شکل

بودن دانه‌های پسته روی خوشه و امکان بالا بودن خطا در تخمین جرم در روش‌های بینایی‌سنجی و یا شمارش محصولات، و انجام برداشت این محصول به‌صورت دستی در اکثر مناطق کشور، در این طرح سعی شد تا برای رسیدن به هدف نهایی تهیه نقشه عملکرد محصول پسته، ابتدا سامانه‌ای متناسب با ویژگی‌های محصول و همچنین روش برداشت دستی طراحی شود، که بتواند ضمن حرکت در بین ردیف‌های نامنظم درختان، دقت کافی در اندازه‌گیری جرم محصول به همراه ثبت موقعیت مکانی دقیق آن را داشته و بتواند بر اساس جرم‌های اندازه‌گیری شده توسط این سامانه، نقشه عملکرد محصول را با بهترین کیفیت ممکن تهیه کرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد محصول پسته در برداشت دستی، در سامانه سنجش عملکرد از شاسی، مخزن، مهارکش، صفحه نگهدارنده‌ی بارسنج، و همچنین یک عدد ترانس‌میتور، مبدل برق و رایانه استفاده شد. شاسی از دو تیر عمودی به طول ۱۲۰cm و یک تیر افقی به طول ۱۱۰cm تشکیل شده است. همچنین به‌منظور نگهداری و اتصال بارسنج روی تیر افقی در بخش بالایی شاسی، صفحه نگهدارنده‌ای به‌صورت افقی قرار داده‌شد. در این دستگاه از یک مخزن به‌صورت آویز استفاده‌شد. از آنجایی که محصول برداشت شده شیره چسبنده‌ای دارد و باعث چسبیدن شیره و برگ روی دیواره مخزن می‌شود، شست و شوی مخزن امری ضروری است که به‌منظور فراهم کردن شرایط بهتر برای شست‌وشو، جنس دیواره‌های مخزن از ورق گالوانیزه سفید (دارای سطح صاف و صیقلی و ضدزنگ) تهیه شد. همچنین برای جلوگیری از تغییر شکل دهانه ورودی مخزن و امکان نصب‌کردن حلقه‌های سوراخ‌دار در چهارگوشه مخزن برای آویزان کردن آن، یک قاب فلزی با استفاده از چهار عدد نبشی نمره ۳ به طول ۵۴ سانتی‌متر روی دهانه ورودی نصب شد. این مخزن به ابعاد ۵۵×۵۵ سانتی‌متر در دهانه ورودی، ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در کف و با ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر ساخته شده است. نحوه بارگیری و تخلیه بدین‌صورت بود که محصول توسط کارگر از قسمت بالایی مخزن وارد، و پس از ثبت شدن وزن، در نهایت با کشیدن دریچه کشویی در انتهای مخزن تخلیه صورت می‌گرفت. برای برقراری ارتباط بین

در ادامه ارائه شده است و در نتیجه سطحی از هر پارامتر که به موجب آن عملکرد دستگاه بهینه بود، برای سنجش در باغ انتخاب شد. برای تهیه نقشه عملکرد داده‌های وزنی در ۱۵۰ نقطه از یک باغ پسته در روستای منزل‌آباد واقع در جنوب شهرستان شهربابک، توسط سامانه طراحی شده، ثبت شد.

در آزمون‌های مزرعه‌ای موقعیت هر نقطه هم‌زمان با ثبت داده‌های وزنی بایستی برداشت شود، به این منظور با استفاده از جی‌پی‌اس دستی ایترکس (etrex) مدل VISTA CX شرکت گارمین ساخت کشور تایوان، برداشت نقاط به صورت نقاط بین‌راهی و با دقت تعیین موقعیت ۱ الی ۵ متر در حالت اختلافی، انجام شد. با اتصال جی‌پی‌اس به رایانه نقاط ذخیره شده به نرم‌افزار MapSource انتقال یافت. نقاط برداشت شده در نرم‌افزار مپ‌سورس با فرمت gpx ذخیره شد سپس این فایل توسط نرم‌افزار آرکمپ^۲ نسخه ۱۰/۳ فراخوانی شده و مقدار وزن محصول برداشت شده از هر درخت به شیپ فایل اضافه شده است.

برای پهنه‌بندی نقشه عملکرد، از روش‌های درون‌یابی از جمله روش‌های IDW^۳ و Kriging که شامل روش‌های کریجینگ معمولی^۴، ساده^۵ و عمومی^۶ است، استفاده شده و با اعتبارسنجی مدل‌های مختلف بهترین روش درون‌یابی بر اساس تعیین کمترین میزان خطای RMSE تعیین شد. انواع اعتبارسنجی شامل اعتبارسنجی ساده^۷ و متقابل^۸ است. اعتبارسنجی متقابل بر این اساس عمل می‌کند که سیستم یک نقطه را حذف کرده و با این فرض که آن نقطه وجود ندارد اقدام به پیش‌بینی آن می‌نماید. مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی شده را با هم مقایسه کرده و مقدار خطا را به دست می‌آورد. اما در روش اعتبارسنجی ساده داده‌های اولیه به دو بخش داده‌های آموزشی و آزمایشی تقسیم می‌شوند و سپس عملیات درون‌یابی بر روی داده‌های آموزشی انجام می‌شود، در نهایت مقدار پیش‌بینی برای نقاط آزمایشی برازش داده شده و مقدار خطای آن مشخص می‌شود (ArcGIS help library,)

آنالوگ تحویل می‌دهد. برای تامین تغذیه مورد نیاز سامانه پایشگر عملکرد در آزمایشگاه از یک دستگاه مبدل برق ۲۲۰ ولت AC به ۲۴ ولت DC و در مزرعه از دو عدد باتری ۱۲ ولت به‌عنوان منبع تغذیه استفاده شد.

اطلاعات مربوط به داده‌های وزنی توسط کابل خروجی بارسنج به ترانسمیتر وارد شدند. داده‌ها پس از ورود به ترانسمیتر از آنالوگ به دیجیتال تبدیل و به‌وسیله کابل تبدیل پورت سریال به درگاه سریال جهانی (USB) وارد رایانه شد. در نهایت، با اجرا کردن نرم‌افزار TM1020 مقدار وزن قابل مشاهده بود. با توجه به اینکه در مراحل بعد برای ترسیم نمودارهای عملکرد محصول به داده‌های وزنی عملکرد نیاز است و از آنجا که این نرم‌افزار تنها قابلیت نمایش داده‌ها را داشت و نمی‌توانست داده‌ها را ذخیره نماید، لذا با استفاده از نرم‌افزار لیبویو برنامه‌ای نوشته شد که داده‌های وزنی را در یک جدول که شامل تاریخ و ساعت و مقدار وزن است، ذخیره کند.

همان‌طور که اشاره شد پس از نصب نرم‌افزار TM 1020 روی رایانه شخصی، با استفاده از کابل تبدیل سریال به درگاه سریال جهانی^۱، ترانسمیتر به رایانه متصل شد. در این مرحله تمامی اتصالات بین بارسنج، ترانسمیتر و رایانه بررسی شده و سپس نرم‌افزار اجرا شد. پس از وارد شدن نرم‌افزار به صفحه اصلی، مقدار وزن خوانده شده توسط بارسنج به شکل یک نمودار در خروجی مشاهده شد و سپس تنظیمات یا کالیبراسیون دستگاه انجام شد.

برای تعیین بالاترین دقت وزنی سامانه سنجش عملکرد دو پارامتر ارتفاع و تعداد مهر به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار بررسی شدند، از این‌رو برای هر یک از پارامترهای مورد نظر سطوحی تعریف شد. دو پارامتر مورد نظر ارتفاع مخزن از کف بارسنج (در سه سطح ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) و تعداد مهارکش (در سه سطح استفاده از دو، سه و چهار مهار) بود (شکل ۱). در نهایت با انجام آزمایش‌های مربوطه تیمارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌های مربوطه با تغییر عوامل مؤثر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و هر فاکتور با سه تکرار انجام شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش برای تحلیل واریانس داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد، نتایج مربوط به تحلیل داده‌ها

2- Arc map
3- Inverse distance weighting
4- Ordinary Kriging
5- Simple Kriging
6- Universal Kriging
7- Validation
8- Cross-validation

1- USB

در توزین بررسی شد. تأثیر این فاکتورها بر عملکرد دستگاه از نظر دقت مقادیر توزین شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ارتفاع و برهم‌کنش ارتفاع و مهار در سطح ۵ درصد، تأثیر معنی‌دار بر درصد دقت بارسنج داشته است. جدول ۱ داده‌های آزمایشگاهی مقادیر وزن اندازه‌گیری شده برای تعداد مهار و ارتفاع‌های مختلف را نشان می‌دهد.

(2011). اعتبارسنجی ابتدا برای روش درون‌یابی IDW انجام شد. در این روش میزان توان (power) برابر ۱ قرار داده شد. همچنین بیشترین همسایه مورد تأثیر ۳ همسایه و کمترین همسایه مورد تأثیر ۲ همسایه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها، بر روی داده‌های جمع‌آوری شده تحلیل‌های آماری انجام گرفت و تأثیر فاکتورهای اثرگذار

جدول ۱- داده‌های آزمایشگاهی مقادیر وزن اندازه‌گیری شده برای تعداد مهار و ارتفاع‌های مختلف

ارتفاع	وزن واقعی (گرم)	وزن اندازه‌گیری شده با ۲ مهار (گرم)	وزن اندازه‌گیری شده با ۳ مهار (گرم)	وزن اندازه‌گیری شده با ۴ مهار (گرم)
۱۰ سانتی‌متر	۳۰۰۰	۲۹۲۸	۲۹۲۰	۲۹۳۷
	۶۰۰۰	۵۸۶۴	۵۸۵۵	۵۸۶۸
	۹۰۰۰	۸۸۰۴	۸۸۰۱	۸۸۲۹
۲۰ سانتی‌متر	۳۰۰۰	۲۹۲۹	۲۹۳۷	۲۹۲۸
	۶۰۰۰	۵۸۵۹	۵۸۷۸	۵۸۵۷
	۹۰۰۰	۸۸۰۳	۸۸۱۴	۸۷۹۹
۳۰ سانتی‌متر	۳۰۰۰	۲۹۲۳	۲۹۳۲	۲۹۰۸
	۶۰۰۰	۵۸۶۷	۵۸۵۵	۵۸۴۰
	۹۰۰۰	۸۷۹۹	۸۸۰۹	۸۷۷۰

را نشان می‌دهد، انتخاب شد. افزایش یا کاهش وابستگی سلول‌های مجهول به سلول‌های اطراف بر اساس توان معکوس فاصله است. بهترین توان مورد استفاده با محاسبه مربع حداقل خطای پیش‌بینی RMSE محاسبه شد. خطای پیش‌بینی با مقایسه اندازه‌های واقعی با اندازه‌های پیش‌بینی‌شده در توان‌های مختلف تعیین شد. نتایج نشان داد که شباهت نقاط مجهول به همسایه‌های معلوم نزدیک‌تر با افزایش توان در مدل افزایش یافت. جدول ۲ میزان صحت میانگین خطا را در توان‌های مختلف نشان می‌دهد که با توجه به این نتایج میانگین خطا برای توان برابر ۵، دارای کمترین میزان خطا است.

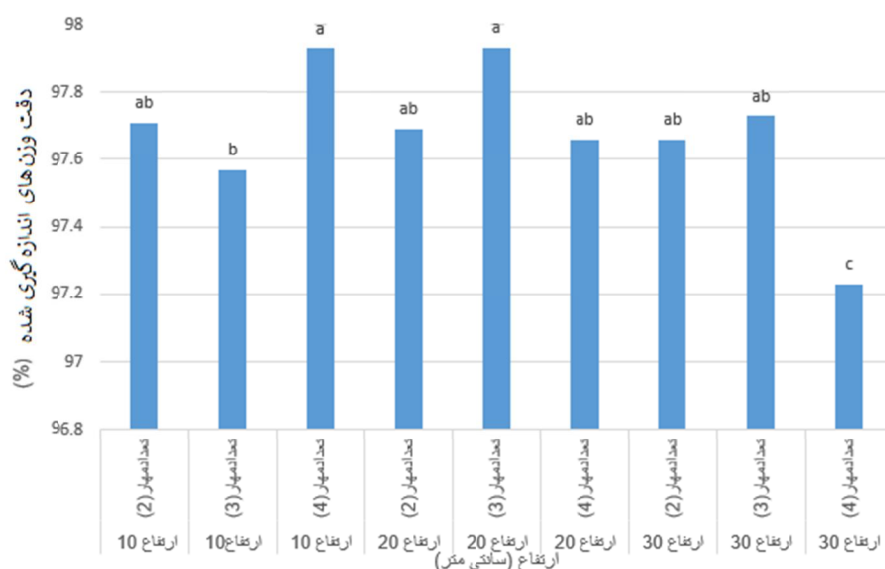
شکل ۴ نمودار پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری‌شده به روش IDW را نشان می‌دهد. مقدار خطای حاصل از این مدل ۲/۷۴ درصد است که در محدوده قابل قبول قرار دارد. در این روش مقدار ریشه میانگین مربعات خطا $1217/43 \text{ kg/ha}$ حاصل شد.

چنانچه در نمودار مقایسه میانگین مشاهده می‌شود (شکل ۳)، از بین تیمارهای مختلف برای مخزن، ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر با تعداد مهار ۴ و همچنین ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با تعداد مهار ۳ دارای بهترین وضعیت یا به عبارتی بالاترین دقت بوده‌است، اما از آنجایی که تأثیر تعداد مهار روی دقت نتایج معنی‌دار نشد، به‌منظور داشتن تعادل بیشتر در هنگام حرکت دستگاه در مزرعه، در این پژوهش چهار عدد مهار انتخاب شد. در بین تمامی حالت‌های اندازه‌گیری وزن توسط بارسنج، پایین‌ترین، بالاترین و میانگین میزان خطا به ترتیب برابر $1/9$ ، $3/06$ و $2/31$ درصد و یا به عبارتی بالاترین، پایین‌ترین و میانگین میزان دقت بارسنج به ترتیب برابر $98/1$ ، $96/93$ و $97/68$ درصد گزارش شد که در محدوده قابل قبول برای اندازه‌گیری وزن قرار دارد.

مقایسه روش‌های درون‌یابی

روش IDW

چنانچه اشاره شد مدل‌های درون‌یابی از دو روش ساده و متقابل اعتبارسنجی شدند و بهترین مدل که کمترین خطا



شکل ۳- اثر متقابل ارتفاع و تعداد مزارع روی وزن‌های اندازه‌گیری شده

جدول ۲- جدول میزان صحت به روش IDW

توان (P)	تعداد همسایه مورد تأثیر	محدوده مورد تأثیر	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE (kg/ha))
۱	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۲۹۰/۹۸۹
۲	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۲۳۳/۴۴۶
۳	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۲۰۶/۴۵
۴	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۱۹۵/۶۳۹
۵	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۱۹۴/۸۷
۶	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۱۹۹/۳۱
۷	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۲۰۵/۹

روش‌های درون‌یابی کریجینگ

در اینجا سه روش کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و کریجینگ عمومی در شرایط مشابه بررسی شدند. به دلیل شباهت وزنی کم نقاط نسبت به همسایه‌های اطراف، حالت بهینه پیش‌بینی از نظر حداقل خطا، در شرایط استفاده از تعداد ۳ همسایه به‌عنوان بیشترین و ۲ همسایه به‌عنوان کمترین تعداد همسایه مؤثر اتفاق افتاد. در روش کریجینگ معمولی، میزان ریشه میانگین مربعات خطا $1160/89$ kg/ha نتیجه شد. در روش کریجینگ ساده^۱

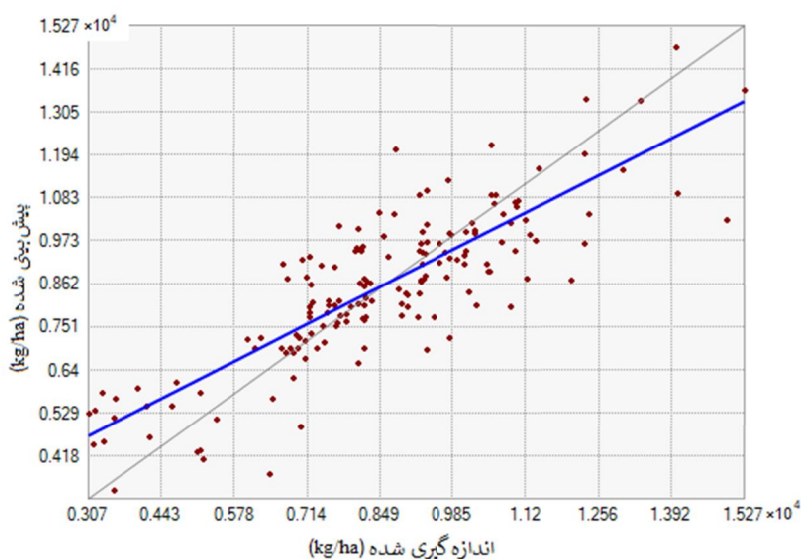
میزان ریشه میانگین مربعات خطا $1195/445$ kg/ha و $0/799$ حاصل شد. در حالی که در روش کریجینگ عمومی^۲ میزان ریشه میانگین مربعات خطا $1261/008$ و ریشه مربعات خطای پیش‌بینی استاندارد شده به میزان $3/153$ به دست آمد (جدول ۳). با توجه به اینکه روش‌های کریجینگ در شرایط برابری مورد ارزیابی قرار گرفتند و از آنجایی که میزان ریشه میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ معمولی در مقایسه با دیگر

2- Universal Kriging

1- Simple Kriging

در مطالعه‌ی انجام شده در هر دو روش IDW و کریجینگ، حالت‌های مختلف ارزیابی شد و شواهد نشان داد که در روش IDW در توان‌های مختلف ۱ تا ۷، توان ۵ کمترین میزان خطای RMSE را به مقدار kg/ha ۱۱۹۴/۸۷ دارا است. همچنین در میان روش‌های مختلف کریجینگ، روش کریجینگ معمولی با کمترین میزان خطای RMSE به مقدار kg/ha ۱۱۶۰/۸۹ بهترین روش به حساب می‌آید؛ از نتایج حاصل و مقایسه مقدار RMSE به دست آمده بین دو روش IDW و کریجینگ معمولی (OK)، چنین می‌توان نتیجه گرفت که روش کریجینگ معمولی، روش دقیق‌تر و مناسب‌تری برای درون‌یابی است.

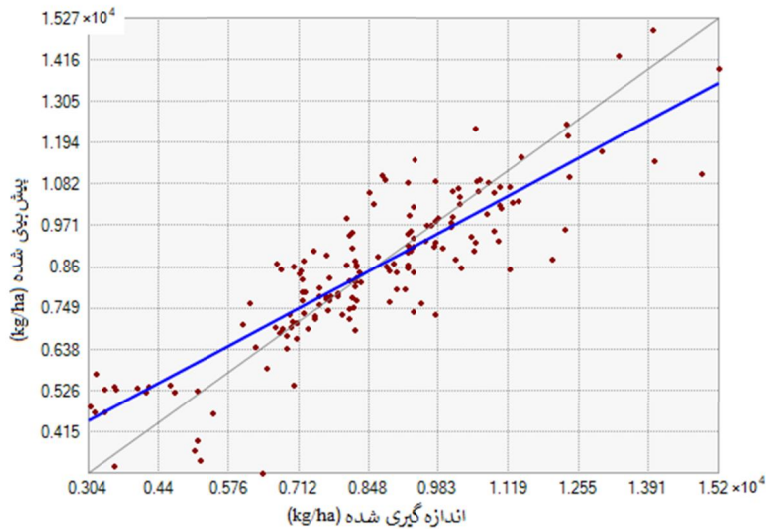
روش‌ها دارای مقدار کمتری بوده، پس دارای دقت بالاتری در پیش‌بینی است و به‌عنوان بهترین روش در بین انواع روش‌های کریجینگ قابل معرفی است. با توجه به اینکه روش کریجینگ معمولی نسبت به دو روش کریجینگ ساده و عمومی از عملکرد بهتری برخوردار بود، در اعتبارسنجی متقابل با روش کریجینگ، از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی بهره‌گیری شد و بیشترین همسایه مورد تأثیر ۳ همسایه و کمترین همسایه مورد تأثیر ۲ همسایه در نظر گرفته شد. شکل ۵ نمودار پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده به روش کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد. برای روش کریجینگ معمولی مقدار خطای $۴/۰۴$ حاصل شد. میزان خطا در این روش نسبت به روش IDW بسیار کمتر است.



شکل ۴- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده در روش IDW

جدول ۳- میزان صحت به روش‌های کریجینگ

نوع روش	تعداد همسایه مورد تأثیر	محدوده مورد تأثیر	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE (kg/ha))	ریشه مربعات خطای پیش‌بینی استاندارد شده (RMSS)
کریجینگ معمولی	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۱۶۰/۸۹	۰/۹۲۵
کریجینگ ساده	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۱۹۵/۴۴۵	۰/۷۹۹
کریجینگ عمومی	بیشترین ۳ همسایه کمترین ۲ همسایه	دایره کامل	۱۲۶۱/۰۰۸	۳/۱۵۳

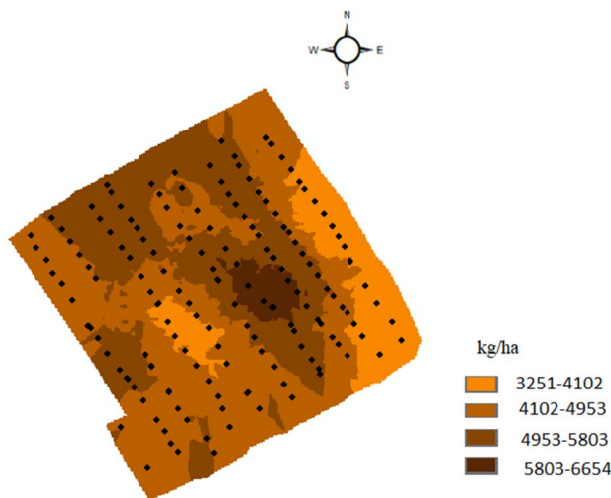


شکل ۵- نمودار مقادیر پیش‌بینی‌شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری‌شده به روش کریجینگ

نمایان شده است. در این نقشه بیشترین مقدار عملکرد ۶۶۵۴ کیلوگرم بر هکتار، کمترین مقدار عملکرد ۳۲۵۱ کیلوگرم بر هکتار و مقدار میانگین داده‌ها ۴۷۷۷ کیلوگرم بر هکتار است. مقدار میانگین در نقشه عملکرد در کلاس دوم و به رنگ قهوه‌ای روشن قرار گرفته است. در این پژوهش عملکرد محصول پسته توسط سامانه سنجش عملکرد ساخته شده بین ۳۰۶۹/۹ تا ۱۵۷۲۱ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد که متوسط عملکرد این محصول ۸۵۰۱/۳ کیلوگرم بر هکتار بود. همچنین ضریب تبیین ۹۹٪ محاسبه شد.

تهیه نقشه عملکرد

بر اساس نتایج مقایسه روش‌های درون‌یابی، ترسیم نقشه عملکرد محصول که مبنای آسیب‌شناسی و تشخیص متغیرها در سطح مزرعه است، در نرم‌افزار آرک‌مپ و با استفاده از روش کریجینگ معمولی انجام شد که در ۴ کلاس وزنی میزان عملکرد نقطه به نقطه باغ به ترتیب با بیشترین و کمترین عملکرد در کلاس‌های وزنی (۵۸۰۳-۶۶۵۴) و (۴۱۰۲-۳۲۵۱) کیلوگرم بر هکتار نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ تغییرات بین بیشترین و کمترین عملکرد، به ترتیب در بخش مرکزی باغ (به رنگ تیره) و در بخش جنوب شرق و شرق باغ (به رنگ روشن)



شکل ۶- نقشه عملکرد باغ تهیه شده به روش کریجینگ معمولی

درختان حرکت کند. دیگر مزیت این دستگاه دارا بودن دقت بالا در ضمن ساختار ساده و پیچیدگی کم آن است. همچنین این دستگاه می‌تواند بدون نیاز به تغییرات عمده، برای ثبت میزان عملکرد سایر محصولات مشابه نظیر بادام، گردو، زیتون و ... نیز مورد بررسی و استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Abidine, A. Upadhyaya, S. K. and Leal, J. 2003. Development of an electronic weigh bucket. Paper presented at the 2003 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers Paper 03-1043. ASAE, St. Joseph, MI.
2. Al-Mahasneh, M. and Colvin, T. 2000. Verification of yield monitor performance for on-the-go measurement of yield with an in-board electronic scale. Transactions of the ASAE, 43(4): 801.
3. ArcGIS Help Library. 2011. Performing cross-validation and validation. ArcGIS Resource Center. Accessed from: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/geostatistical-analyst/cross-validation.htm>
4. Azimi, S. Khoshravesh, M. Ghalenoei, M. and Piroozinezhad, S. 2017. Assessment of SPI index for drought severity zoning by comparing three interpolation methods Ordinary Kriging, IDW and Spline (Case Study: Khorasan Razavi Province). Second Iranian National Hydrology Conference, Shahrekord, 11 p. (In Farsi)
5. Bagherpour, H. Minaei, S. Abdollahian-Noghahi, M. and Khorasani, M. 2016. Quantitative yield monitoring of sugar beet using mass monitor out of harvester chassis. The 8th National congress on Agricultural Engineering Machinery (Biosystems) and Mechanization. Mashhad. 12 p. (In Farsi)
6. Beheshti-Rad, M. 2014. Monitoring and prediction of drought in Kerman province using DI index and mapping with Geostatistic methods. Journal of Zonal Planning, 4(16): 149-158. (In Farsi)
7. Magalhães, P. S. G. and Cerri, D. G. P. 2007. Yield monitoring of sugar cane. Biosystems Engineering, 96(1): 1-6.
8. Ehsani, R. and Karimi, D. 2010. Yield monitors for specialty crops. Advanced engineering systems for specialty crops: a review of precision agriculture for water, chemical, nutrient application, and yield monitoring. Agriculture and Forestry Research, 340: 31-34.

تغییر در مقدار عملکرد نقاط مختلف یک باغ می‌تواند ناشی از فاکتورهای مختلفی از جمله تغییرات در اندازه درختان، نوع خاک، ارتفاع، آفت‌های موجود و یا ابتلا به برخی بیماری‌ها باشد (Ehsani & Karimi, 2010). مطالعات میدانی در زمینه عملکرد نیشکر نشان داده‌است که عملکرد متوسط این محصول حدود ۷۶ Mg/ha، اما عملکرد محلی بین ۳۶ تا ۲۱۴ Mg/ha است (Price *et al.*, 2011). در یک گزارش تغییرات در عملکرد سیب زمینی که توسط یک پایشگر عملکرد اندازه‌گیری شده است بین ۴۰ تا ۱۰۰ Mg/ha محاسبه شده است (Persson *et al.*, 2004). در پژوهشی دیگر، عملکرد میوه در یک باغ مرکبات بین ۲۱ تا ۴۵ Mg/ha گزارش شد (Zaman *et al.*, 2006). در حالی که در گزارشی دیگر به دامنه بین ۹ تا ۵۴ Mg/ha رسیده‌است (Tumbo *et al.*, 2002). در سنجش عملکرد پسته ضریب تعیین بین محصول واقعی و اندازه‌گیری شده را ۰/۹۷ گزارش شد (Rosa *et al.*, 2011). در پژوهش انجام شده روی محصول سیر نیز $R^2 = 0/947$ بین محصول واقعی و اندازه‌گیری شده گزارش شد (Sadeghi *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری

سامانه سنجش عملکرد محصول پسته به‌منظور تهیه نقشه عملکرد در برداشت دستی ساخته شد. از آن‌جایی که هزینه استفاده از نهاده‌های کشاورزی در باغ‌های پسته بسیار بالاست، وجود سامانه سنجش عملکرد برای مدیریت و کنترل هرچه بیشتر این نهاده‌ها، امری ضروری به نظر می‌رسد.

برای رسیدن به شرایط عملکردی بهینه در طراحی سامانه سنجش عملکرد محصول پسته، آزمایش سامانه طراحی شده در شرایط آزمایشگاهی با وزنه‌های استاندارد انجام شد و نتایج آزمایش‌ها با خطای کمتر از ۳ درصد دقت بالای این سامانه را نشان داد. برای تهیه نقشه عملکرد، با مقایسه‌ای که بین روش‌های درون‌یابی IDW، کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و کریجینگ همگانی صورت گرفت روش کریجینگ معمولی با کمترین مقدار RMSE (۱۱۶۰/۸۹ kg/ha) به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد و نقشه عملکرد باغ نیز با همین روش تهیه شده است. مزیت سامانه طراحی شده قابلیت سوار شدن آن بر روی هر وسیله کشنده کوچکی است که بتواند در بین ردیف

- weighing in Batch Type by a cylindrical System under laboratory conditions. The Third National Conference of modern topics in agriculture. Tehran. 9 p. (In Farsi)
20. Tumbo, S. Whitney, J. Miller, W. and Wheaton, T. 2002. Development and testing of a citrus yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(4): 399 .
 21. Zaman, Q. W. Schumann, A. K. and Hostler, H. 2006. Estimation of Citrus Fruit Yield using Ultrasonically-Sensed Tree Size. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(1): 39.
 9. Eivazi, M. Mosaedi, A. Meftah-Halghi, M. and Hesam, M. 2009. Comparison of Different Interpolation Methods in Drought mapping in Golestan Province. The Second National Conference on Drought Effects and Management solutions. Esfahan. 6 p. (In Farsi)
 10. Ghezelbash, M. Naseri, F. Karimi-Mele, H. and Rashedi, A. 2016. Comparison of Kriging and IDW Interpolation Methods for Assessing Groundwater Quality Parameters in Relation to Agricultural Utilization Using GIS (Case Study: Central and South Central District of Kalaleh, Golestan Province). The 5th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources. Tehran. 13 p. (In Farsi)
 11. Rosa, U. A. Rosenstock, T. S. Choi, H. Pursell, D. Gliever, C. J. Brown, P. H. and Upadhyaya, S. K. 2011. Design and evaluation of a yield monitoring system for pistachios. *Transactions of the ASABE*, 54(5): 1555-1567.
 12. Kim, C. Choi, M. Park, T. Kim, M. Seo, K. and Kim, H. 2016. Optimization of yield monitoring in harvest using a capacitive proximity sensor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 9(2): 151-157 .
 13. Maharlooei, M. Loghavi, M. and Kamgar, S. 2008. Design and Development of a New Method for forage Maize Instantaneous yield monitoring. The 5th National congress on Agricultural Engineering Machinery (Biosystems) and Mechanization. Mashhad. 9 p. (In Farsi)
 14. Molin, J. and Menegatti, L. 2004. Field-testing of a sugar cane yield monitor in Brazil. Paper presented at the 2004 ASAE Annual Meetin, 12 p.
 15. Paxton, K. W. Mishra, A. K. Chintawar, S. Roberts, R. K. Larson, J. A. English, B. C. and Reeves, J. M. 2011. Intensity of precision agriculture technology adoption by cotton producers. *Agricultural and Resource Economics Review*, 40(1): 133-144 .
 16. Pelletier, G. and Upadhyaya, S. K. 1999. Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23(2): 103-117.
 17. Persson, D. Eklundh, L. and Algerbo, P. A. 2004. Evaluation of an optical sensor for tuber yield monitoring. *Transactions of the ASAE*, 47(5): 1851.
 18. Price, R. R. Johnson, R. M. Viator, R. P. Larsen, J. and Peters, A. 2011. Fiber optic yield monitor for a sugarcane harvester. *Transactions of the ASABE*, 54(1): 31-39.
 19. Sadeghi, Z. Maghsoudi, H. Maharlooei, M. and Molazade, M. 2016. Garlic Bulb's

