

تخمین سرعت پیشروی مناسب برای ماشین‌های برداشت با استفاده از فراصوت

گلثومه شادکام

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

shadkam_2008@yahoo.com

کاظم جعفری نعیمی

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمدعلی محمدی

دانشکده مهندسی برق

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۴

چکیده

سرعت پیشروی مناسب ماشین‌ها، برای عملیات برداشت وابسته به مقدار تراکم محصول در جلوی آنهاست. یکی از روش‌های تخمین سرعت پیشروی مناسب برای ماشین‌های برداشت، اندازه‌گیری تراکم محصول با استفاده از روش‌های غیرمخرب است. به‌طور کلی، می‌توان از امواج فراصوتی برای تعیین تراکم و تخمین سرعت پیشروی مناسب ماشین برای عملیات برداشت استفاده کرد. برای منظور، در این پژوهش ابتدا یک سیستم غیرمخرب فراصوتی براساس سیستم ارزیابی عبوری طراحی و ساخته شد. این سیستم قادر است یک پالس الکتریکی تولید و آنرا به امواج فراصوت تبدیل کند. امواج فراصوت از یک طرف به درون محصول فرستاده می‌شوند و انرژی منتقل شده به طرف دیگر محصول، توسط مبدل گیرنده دریافت و توسط کامپیوتر تجزیه و تحلیل می‌گردد. سیستم با پردازش سیگنال‌های ارسالی و دریافتی به صورت نیمه‌خودکار، شاخص‌های فراصوتی مانند سرعت عبور امواج، ضریب تضعیف، جذر میانگین مربع^۱ و طیف بسامدی سیگنال را تعیین می‌کند. به منظور بررسی درستی کار سیستم ساخته شده در تعیین تراکم، آزمایش‌هایی با تراکم‌های مختلف روی محصول جو در آزمایشگاه انجام شد. شاخص‌های فراصوتی مطابق با تراکم محصول تحلیل شدند و یک تحلیل رگرسیون برای ارتباط تغییر شاخص‌های فراصوتی با تراکم محصول انجام شد. سپس با استفاده از تبدیل فوریه سریع^۲ طیف بسامدی سیگنال دریافتی بررسی گردید. نتایج نشان داد که سیستم توانایی خوبی برای اندازه‌گیری شاخص‌های فراصوتی محصول جو دارد و بهترین شاخص فراصوتی‌ای که با تراکم محصول در ارتباط است بیشینه دامنه ولتاژ امواج دریافتی است. بر این اساس برنامه‌ای برای میکروکنترلر موجود در سیستم جمع‌آوری داده نوشته شد. سیگنال‌های دریافتی، مطابق با این برنامه پردازش و سرعت متناسب با تراکم محصول برای ماشین برداشت تخمین زده شد و بر روی یک صفحه نمایش نمایان گردید. بررسی طیف بسامدی سیگنال دریافتی نشان داد که با افزایش تراکم محصول قدرت هارمونیک‌های طیف بسامدی سیگنال دریافتی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: آزمون غیرمخرب، شاخص‌های فراصوتی، امواج فراصوت، تراکم

۱. مقدمه

سرعت پیشروی مهم‌ترین تنظیم در عملکرد بهینه ماشین‌های برداشت می‌باشد. به منظور افزایش ظرفیت مزرعه‌ای ماشین‌های برداشت، یک مکش ثابت از توده محصول در سیستم تغذیه آنها ضروری است. از آنجا که تراکم محصول در همه جای مزرعه یکنواخت نیست، راننده باید سرعت پیشروی را متناسب با مقدار تراکم تخمین زده شده به طور چشمی در جلوی ماشین تنظیم کند. این کار برای راننده خسته‌کننده است. برای کنترل سرعت پیشروی متناسب با تراکم محصول نیاز به تعیین تراکم محصول می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین تراکم محصول، روش غیرمخرب فراصوتی است. هنگامی که امواج فراصوت از یک محیط عبور می‌کند به دلیل تأثیر متقابل امواج و محیط انرژی ارسالی با انرژی دریافتی یکسان نخواهد بود. تغییرات انرژی سبب تغییر شاخص‌های فراصوتی می‌شود و با تراکم محصول در ارتباط است. بنابر این می‌توان از روش غیرمخرب فراصوتی برای تعیین تراکم محصول استفاده کرد. تیلور و همکاران در سال ۱۹۸۶ برای تعیین تراکم محصول در جلوی یک کمباین در حین برداشت از پرتو لیزر استفاده کردند و اظهار نمودند تعداد انقطاع‌های پرتو نور متناسب با تعداد ساقه است [۶]. اِلرت و همکاران در سال ۱۹۹۶ برای تعیین تراکم گیاهان از یک حسگر تماسی استفاده کردند. آنها یک پاندول را از میان توده گیاهی عبور دادند و رابطه بین انحراف زاویه پاندول و تراکم محصول را تعیین کردند [۳]. سادوت و همکاران در سال ۲۰۰۰ یک میله فلزی را به یک پتانسیل‌سنج متصل کردند و آن را در جلوی یک دماغه ذرت برای شمارش تعداد ساقه‌هایی که برداشت می‌شوند سوار کردند. منابع خطا در این روش تعداد ساقه‌های جفت‌شده و خم‌شده بودند [۴]. مرتینز و همکاران در سال ۲۰۰۳ از حسگرهای فراصوتی برای تعیین تراکم محصول استفاده و گزارش کردند با افزایش تراکم محصول، میزان امواج دریافت‌شده به صورت نمایی کاهش می‌یابد [۵]. هدف از این پژوهش، طراحی و ساخت یک

سیستم غیرمخرب فراصوتی برای تعیین تراکم محصول در جلوی ماشین برداشت‌کننده به منظور بهینه کردن مدیریت محصول در طی عملیات داشت و برداشت، تنظیم سرعت پیشروی، راحتی راننده و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

سرعت پیشروی مهم‌ترین تنظیم در عملکرد بهینه یک کمباین است [۲]. برای تخمین سرعت پیشروی مناسب برای ماشین‌های برداشت نیاز به تعیین تراکم محصول داریم. به منظور تعیین تراکم با استفاده از امواج فراصوتی نیاز به یک سیستم فراصوتی داریم. این سیستم باید بتواند یک سیگنال الکتریکی تولید و بعد از تقویت و افزایش توان سیگنال الکتریکی، آن را به موج فراصوت تبدیل کند. موج فراصوت از یک طرف به درون محصول فرستاده می‌شود و انرژی منتقل شده به طرف دیگر محصول، توسط مبدل گیرنده دریافت می‌گردد. سیستم با پردازش سیگنال‌های ارسالی و دریافتی به صورت نیمه‌خودکار، شاخص‌های فراصوتی مانند سرعت عبور امواج، ضریب تضعیف، جذر میانگین مربع و طیف بسامدی سیگنال را تعیین می‌کند و با توجه به تغییر شاخص‌های فراصوتی، تراکم محصول مشخص می‌شود. قسمت‌های اصلی و شماتیک ساده سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است.

بخش‌های اصلی سیستم عبارتند از:

الف. مولد سیگنال: یک سیگنال الکتریکی با دامنه و فرکانس مشخص تولید و به مبدل فرستنده ارسال می‌نماید و مبدل فرستنده با استفاده از ویژگی پیزوالکتریسیته، آن را به امواج فراصوت تبدیل می‌کند.

ب. مبدل‌های فراصوتی: با توجه به انتخاب سیستم ارزیابی عبوری، تعداد مبدل‌های مورد نیاز دو دستگاه است، که یکی به عنوان فرستنده و دیگری به عنوان گیرنده عمل می‌کند. مبدل باید قادر به تولید امواجی با شدت و توان مناسب برای عبور از میان توده محصول در تراکم‌های

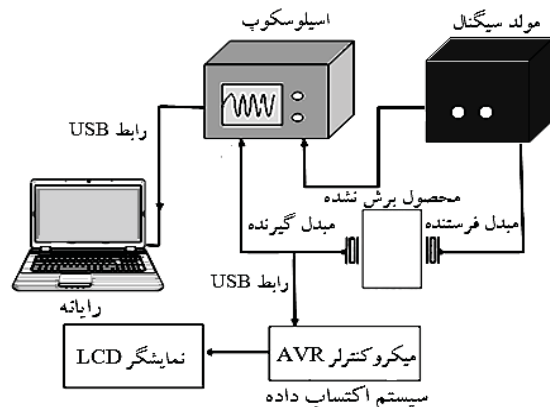
مختلف باشد. بدین منظور از مبدل‌هایی با فرکانس ۴۳ کیلوهرتز برای این سیستم استفاده شد.

ج. واحد آشکارساز یا نوسان‌نمای دیجیتال: سیگنال‌های ارسالی و دریافتی به واحد آشکارساز ارسال می‌شوند و پس از دیجیتال شدن و پردازش بوسیله درگاه «یواس‌بی» به کامپیوتر ارسال می‌شود. واحد آشکارساز با استفاده از نرم‌افزار TNM فعال می‌شود.

د. سیستم داده‌برداری^۲: برای پردازش سیگنال‌های دریافتی از میان توده محصول از یک سیستم داده‌برداری استفاده شد. سیستم داده‌برداری شامل یک میکروکنترلر AVR هشت‌بیتی مدل ATMEGA8 می‌باشد و برای برنامه‌نویسی میکروکنترلر از کامپایلر Code Vision AVR استفاده شد.

ه. تقویت کننده^۳: سیگنال دریافتی را تقویت و به پردازنده مرکزی (میکروکنترلر) ارسال می‌کند.

و. مبدل آنالوگ به دیجیتال^۴: مبدل آنالوگ به دیجیتال از سیگنال آنالوگ ورودی در فاصله زمانی مشخص نمونه‌برداری کرده و سپس این نمونه‌ها را دیجیتال و وارد کامپیوتر می‌کند. با اتصال این اعداد به یکدیگر امواج بازسازی می‌شوند. نرخ نمونه‌برداری سیستم 100 Ksps (صد هزار نمونه در ثانیه) و مبدل استفاده شده در این پژوهش هشت‌بیتی است.



شکل ۱. شماتیک ساده سیستم غیرمخرب فراصوتی برای تعیین تراکم

ز. صفحه نمایش: سرعت پیشروی متناسب با تراکم محصول را به راننده نشان می‌دهد.

ح. کامپیوتر: برای نصب نرم‌افزارهای مورد نیاز و ذخیره سیگنال‌ها به کار برده می‌شود.

۲-۱. تعیین شاخص‌های فراصوتی محصول جو

به دلیل ناهمگن بودن محصولات کشاورزی تعیین سرعت امواج فراصوتی به صورت تحلیلی مشکل است. به همین دلیل از طریق اندازه‌گیری زمان طی مسافت (مدت زمانی که طول می‌کشد تا امواج از یک سر نمونه وارد و از سر دیگر خارج شوند) در یک طول مشخص از توده محصول، می‌توان سرعت عبور امواج را با استفاده از رابطه ۱ محاسبه کرد [۱]:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

تضعیف، ترکیبی از تأثیر جذب و پراکندگی ارائه می‌دهد. جذب، اشاره به تبدیل انرژی صوتی به حرارتی به علت لزجت محیط دارد و پراکندگی، اشاره به انتشار صوتی در دیگر جهت‌ها به علت غیرهمگن بودن محیط. ضریب تضعیف امواج با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۸]:

$$\alpha_{dB} = -20 \log\left(\frac{A}{A_0}\right) / L \quad (2)$$

در این رابطه A_0 دامنه سیگنال ارسالی A دامنه سیگنال دریافتی و L فاصله میان دو مبدل فرستنده و گیرنده می‌باشد. یکی دیگر از شاخص‌هایی که در حوزه زمان از سیگنال‌های فراصوتی قابل دسترسی است، جذر میانگین مربع می‌باشد. این شاخص وابسته به اندازه سیگنال است. اگر فاصله بین فرستنده و گیرنده زیاد باشد یا شاخص میرایی زیاد باشد، جذر میانگین مربع کم خواهد شد. این شاخص از رابطه ۳ به دست می‌آید [۷]:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt} \quad (3)$$

در این رابطه $V(t)$ دامنه سیگنال بر حسب mV است. مقدار ریشه دوم سیگنال دریافت شده از نرم‌افزار TNM قابل دسترسی است.

۲-۲. روش انجام آزمایش

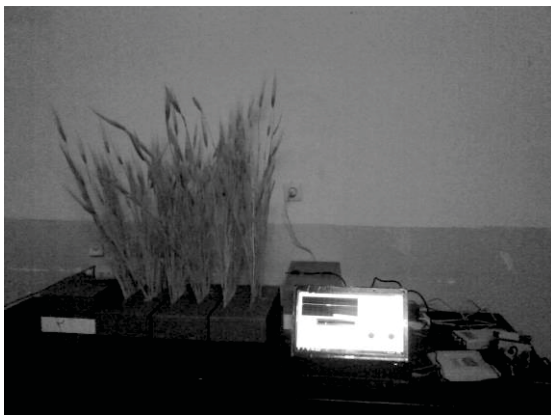
به منظور تعیین تراکم محصول و در نتیجه تخمین سرعت پیشروی متناسب با آن، آزمایش‌هایی با شش تراکم مختلف محصول جو و هر تراکم با ۱۰ تکرار انجام شد. در هر آزمایش فاصله میان فرستنده و گیرنده ثابت بود (۷۰ سانتی‌متر) و تعداد ردیف‌ها (تراکم) تغییر می‌کرد. در مرحله اول یک ردیف محصول در فاصله میان فرستنده و گیرنده قرار داده شد با ارسال و دریافت امواج از میان محصول شاخص‌های فراصوتی (ضریب تضعیف، سرعت انتشار، بیشینه ولتاژ امواج دریافتی درحوزه زمان و طیف بسامدی سیگنال دریافتی در حوزه فرکانس) و زمان طی مسافت امواج محاسبه و ثبت شد. در مراحل بعدی، هر بار با افزودن یک ردیف به ردیف‌های قبلی تا شش ردیف آزمایش‌ها به ترتیب انجام شدند. با توجه به این که مقدار دامنه امواج ارسال شده ثابت است، با داشتن دامنه سیگنال دریافتی، زمان عبور امواج و فاصله میان فرستنده و گیرنده، می‌توان ضریب تضعیف و سرعت عبور امواج از میان توده محصول را به ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه کرد. شاخص جذر میانگین مربع و طیف بسامدی سیگنال دریافتی (محاسبه FFT) به صورت خودکار با نرم‌افزار TNM محاسبه می‌شود. در نهایت از برنامه مایکروسافت آفیس اکسل ۲۰۰۷ برای ارتباط دادن شاخص‌های فراصوتی با مقدار تراکم محصولات استفاده شد.

۲-۳. نحوه کار سیستم

مولد سیگنال یک پالس الکتریکی تولید و مبدل فرستنده آنرا به موج فراصوت تبدیل می‌کند. موج فراصوت تولید شده، به وسیله مبدل فرستنده به درون محصول ارسال و پس از عبور از میان محصول، توسط مبدل گیرنده دریافت می‌گردد. هر دو مبدل به نوسان‌نما وصل شده اند. مشخصات سیگنال ارسالی و دریافتی توسط نرم‌افزار نوسان‌نما بر روی کامپیوتر نشان داده می‌شود. دامنه سیگنال ارسالی ثابت می‌باشد ولی مشخصات سیگنال

دریافتی بسته به مقدار تراکم محصول میان دو مبدل متغیر می‌باشد.

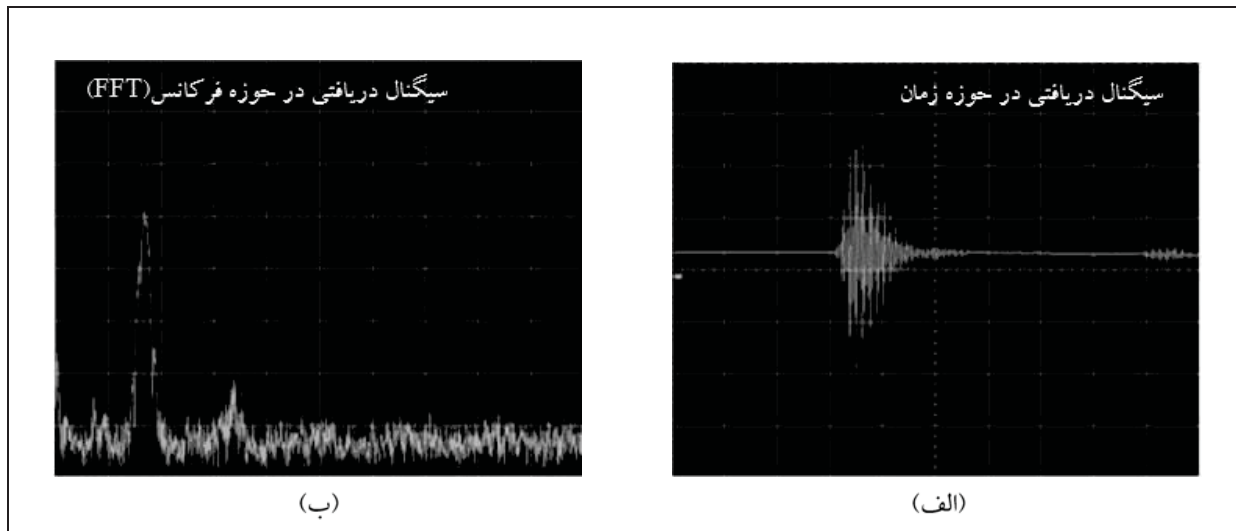
سیگنال دریافتی توسط مبدل گیرنده بعد از تقویت، توسط یک مدار واسطه به یکی از پایه‌های آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر داده می‌شود. در آنجا، سیگنال آنالوگ دیجیتال شده و به مدار پردازش سیگنال ارسال می‌شود. میکروکنترلر موجود در مدار پردازش، بر اساس برنامه ای که به آن داده شده است سیگنال دریافتی را پردازش می‌کند و سرعت پیشروی متناسب با تراکم محصول بر روی صفحه نمایش نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که برای تعیین تراکم محصول با استفاده از این سیستم نیازی به نوسان‌نما و کامپیوتر نمی‌باشد. از نوسان‌نما و کامپیوتر فقط برای مشخص کردن بهترین شاخص فراصوتی مرتبط با تراکم محصول و همچنین نوشتن برنامه برای میکروکنترلر استفاده می‌شود. بعد از مشخص نمودن بهترین شاخص فراصوتی، سیستم بدون این وسایل نیز قادر به تعیین تراکم محصول می‌باشد.



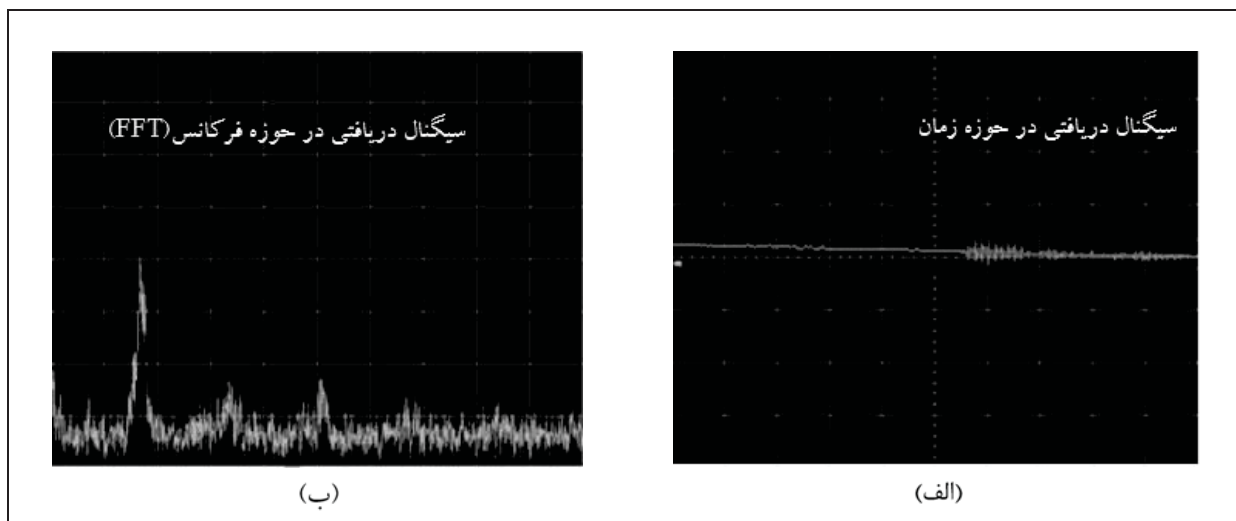
شکل ۲. سیستم تعیین تراکم محصول و کاربرد آن در محیط آزمایشگاه

۳. بررسی نتایج

در شکل‌های ۳ و ۴ نمودار شکل موج دریافتی از تراکم محصول در حوزه زمان و حوزه فرکانس (FFT) نشان داده شده است.



شکل ۳. الف) نمودار شکل موج دریافتی از میان دو ردیف محصول جو و ب) طیف بسامدی حاصل از آن



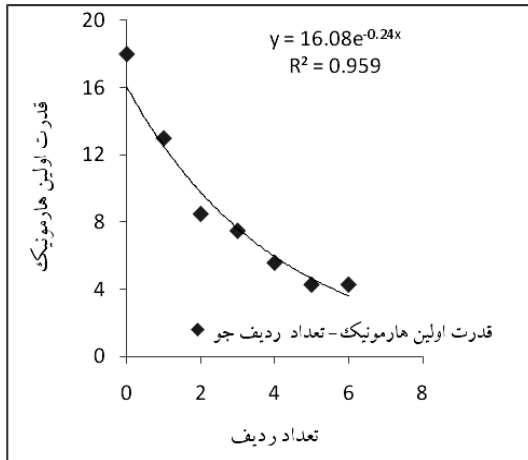
شکل ۴. نمودار شکل موج دریافتی از میان شش ردیف محصول جو و طیف بسامدی حاصل از آن

خطای استاندارد $RMSE = 0.06V$ مشاهده می‌شود (شکل ۵). قدرت اولین هارمونیک طیف بسامدی با افزایش تراکم محصول به ترتیب با ضریب تعیین $R^2 = 0.959$ و خطای استاندارد $RMSE = 0.15$ مطابق شکل ۶ کاهش یافت. سرعت انتشار امواج با تغییر تراکم محصول تغییر محسوسی نداشت و می‌توان گفت که سرعت انتشار امواج تقریباً ثابت است. با افزایش تراکم محصول، ضریب تضعیف به صورت خطی با ضریب تعیین $R^2 = 0.98$ و خطای استاندارد

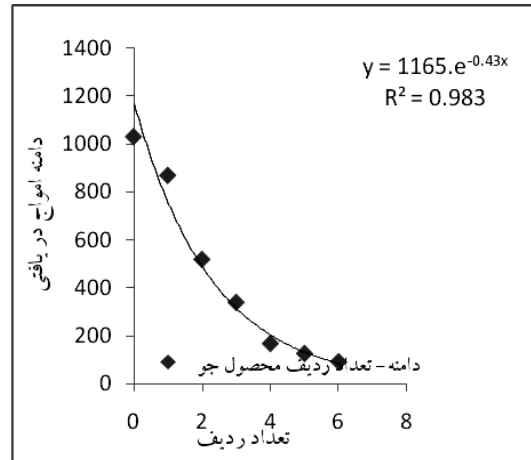
در نمودار شکل موج دریافتی در حوزه زمان، محور افقی زمان μs و محور عمودی دامنه ولتاژ mV سیگنال دریافتی است. ولی در نمودار شکل موج دریافتی در حوزه فرکانس (FFT)، محور افقی فرکانس Hz و محور عمودی قدرت mV است. همان طور که در شکل‌های ۳ و ۴ نمایان است، با تغییر تراکم محصول (تعداد ردیف) دامنه ولتاژ امواج تغییر می‌یابد به طوری که با افزایش تراکم محصول یک کاهش نمایی در میزان انرژی دریافت شده (دامنه ولتاژ امواج دریافتی) با ضریب تعیین $R^2 = 0.983$ و

تغییرات گسترده‌تری دارد، دامنه ولتاژ امواج دریافتی می‌باشد. بر این اساس برنامه ای به منظور کنترل سرعت متناسب با تراکم محصول برای مدار پردازش نوشته شد.

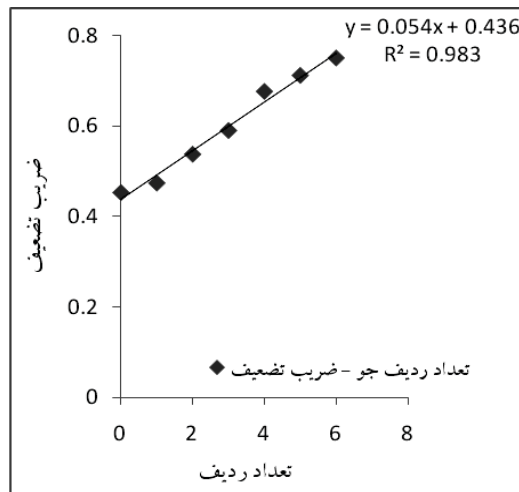
$RMSE = 0.0827$ افزایش پیدا کرد (شکل ۷). با بررسی و تحلیل نتایج به دست آمده مشخص شد بهترین شاخص فراصوتی که با تراکم محصول در ارتباط است و بازه



شکل ۶. تأثیر تعداد ردیف محصول جو بر قدرت اولین هارمونیک طیف بسامدی سیگنال دریافتی



شکل ۵. تأثیر تعداد ردیف (تراکم) محصول جو بر دامنه ولتاژ سیگنال دریافتی



شکل ۷. تأثیر تعداد ردیف محصول جو بر ضریب تضعیف

۴. مآخذ

[۱] ذکی دیزجی، ح.، س. مینایی، ت. توکلی هشتجین و م. مختاری دیزجی. "بررسی تعیین شاخص‌های فراصوتی میوه انار برای کیفیت‌سنجی." مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد،

۱-۵، ۱۳۸۷.

[۲] منصورى راد، د. تراكتور و ماشين‌هاى کشاورزى، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۸۲.

- [3] Ehlert, D., H. Smith. "Site-specific measuring of biomass in standing plant populations." *Landtechnik*, vol.51 (2), (1996):86–87.
- [4] Sudduth, K.A., S.J. Birrell and M.J. Krumpelman. "Field evaluation of a corn population sensor." *Proceedings of 5th International Conference on Precision Agriculture (P. C. Robert, R. H. Rust, W. E. Larson, W. I. Madison, eds)*. ASA, CSSA, and SSSA, 2000.
- [5] Maertens, K., P. Reyns, J. De Clippel and J. De Baerdemaeker. "First experiments on ultrasonic crop density measurement." *Journal of Sound and Vibration*, vol.266, (2003):655–665.
- [6] Taylor R. K., M. L. Stone and H. W. Downs. "Mapping yield potential with remote sensing." *ASAE Paper No. 86*, (1986):1619.
- [7] Jivanuwong, S. "Nondestructive detection of hollow heart in potatoes using ultrasonics." M.Sc. Thesis in Biological Systems Engineering. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.
- [8] Handley, S.M., M.S. Hughes, J.G. Miller and E.I. Madaras. "Characterization of porosity in graphite/epoxy laminates with polar backscatter and frequency dependent attenuation." *Ultrasonics Symp.*, (1987):827-830.

پى نوشت

-
1. Root Mean Square (RMS)
 2. Data Acquisition System
 3. Amplifier
 4. A/D