

طراحی، ساخت و ارزیابی حسگر اندازه گیری رطوبت علوفه با استفاده از امواج فراصوت

سیدامین موسوی فر¹، امین‌اله معصومی²، عباس همت³ و جعفر قیصری³

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان

2- استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان

3- استاد دانشگاه صنعتی اصفهان

4- استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان

Mousavifar.amin@gmail.com

چکیده

حدود 90 درصد علوفه خشک در اکثر کشورهای جهان، بسته بندی می‌شود و در ایران عمدتاً بصورت بسته های مکعبی موسوم به بیل بوده که توسط دستگاه بسته بندی علوفه تهیه می‌شود. از آنجاکه تراکم پذیری بسته های یونجه نه تنها به واریته، بلوغ و چین برداشت آن بلکه به محتوای رطوبتی شدیداً وابسته است. بسته بندی معمولاً در اوایل صبح که مقداری شب نم روی یونجه نشسته است صورت می‌گیرد و با بالا آمدن خورشید لازم است تراکم بسته‌ها متناسب با محتوای رطوبتی محصول توسط راننده بطور مداوم کنترل گردد. در غیر این صورت بسته ها یا بیش از حد فشرده می‌شوند که باعث ایجاد کپک زدگی می‌گردد و یا کمتر از حد متراکم شده‌اند که هزینه حمل و نقل و انبارداری را افزایش می‌دهد. در این پژوهش حسگر جدیدی برای اندازه‌گیری بر خط رطوبت بسته‌های علوفه جهت استفاده در سامانه کنترل اتوماتیک درجه تراکم بسته های مکعبی، طراحی و ساخته شد. به این منظور با استفاده از امواج فراصوت¹ رطوبت بسته‌های علوفه پیش‌بینی شد. این حسگر شامل یک فرستنده و یک گیرنده فراصوت (40 کیلو هرتز)، یک موج‌بر به قطر داخلی سانتی متر 10، قطر خارجی 10/5 و طول 30 سانتی متر، یک حسگر دما و یک نمایشگر بود. موج‌بر بصورت عمودی روی بسته‌های علوفه قرار گرفته و موج تولید شده توسط میکروکنترلر AT Mega 32 بوسیله فرستنده فراصوت در داخل موج‌بر ارسال شده و پس از برخورد به بسته‌های علوفه بوسیله گیرنده فراصوت دریافت می‌شود شدت موج دریافتی به دما و محتوای رطوبتی علوفه وابسته می‌باشد. با واسنجی شدت موج نسبت به دما مشخص شد با افزایش محتوای رطوبتی بسته های علوفه، شدت موج نیز افزایش می‌یابد. این حسگر در شرایط دمایی مختلف و در دامنه رطوبتی 12 تا 30 درصد بر مبنای وزن تر با ضریب تبیین ($R^2=0.98$) واسنجی شد.

واژه‌های کلیدی: یونجه، میکروکنترلر، فرستنده فراصوت

¹-Ultrasonic

مقدمه

یونجه گیاه بومی جنوب غربی آسیاست که آن را سلطان گیاهان علوفه ای می گویند، چون ضمن تولید بالا، ارقام مختلف آن با هر آب و هوایی سازگاری دارند. این گیاه اولین گیاهی است که در بهار علوفه می دهد. گیاه یونجه چندساله است و در سال چندین چین می دهد. هر هکتار در سال با توجه به آب و هوای منطقه 4 تا 18 تن علوفه خشک می دهد.

از دیاد روزافزون جمعیت و صنعتی شدن دامداری ها و دامپروری ها باعث افزایش سطح زیر کشت یونجه شده است. سیاست واردات و صادرات نیز به گونه ای است که روند این افزایش را تسریع نموده است که در این راستا مکانیزه کردن مزارع و استفاده صحیح از ماشین آلات رخ می نماید [18]. یکی از اصول مدیریت مزارع علوفه ای این است که علوفه ها زودتر بسته بندی شده و از مزرعه خارج شود تا امکان آبیاری به موقع حاصل شود و در نهایت چین برداشت بیشتری در سال حاصل شود. در مناطق روستایی و دامداری های سنتی ما متأسفانه به دلیل عدم امکان استفاده به موقع از ماشین آلات مخصوص بسته بندی و جمع آوری علوفه، عملاً میزان ضایعات به صورت ریخت و ریز علوفه بسیار افزایش می یابد. در شرایط مطلوب و مناسب بسته بندی علوفه میزان ضایعات این بخش حدود 2 تا 3/5 درصد قابل کاهش است در حالی که در صورت عدم توجه به این امر تا 35 درصد محصول در طی این مرحله و مرحله انبارداری از بین خواهد رفت [1].

امروزه در بسیاری از فعالیت های صنعتی در جهان، استفاده از کارگر یا نیروی انسانی جای خود را به نیروی مکانیکی بخشیده است. سیستم های مکانیکی خودکار قادرند ساعت های زیادی بکار گرفته شوند بدون اینکه خسته شوند و کاری که به آنها واگذار می شود را بسته به خصوصیتشان به دقت به انجام رسانند. بخش کشاورزی نیز همچون بخش صنعت نیاز مبرمی در بکارگیری سیستم های خودکار دارد.

روش های مختلفی برای جمع آوری و نگهداری علوفه بکار می رود. حدود 90٪ علوفه خشک در اکثر کشورهای جهان، بسته بندی می شود و در ایران عمدتاً بصورت بسته های مکعبی موسوم به بیل بوده که توسط دستگاه بسته بندی علوفه تهیه می شود. در این روش علوفه های درو شده را تا رسیدن به یک رطوبت مطلوب که معمولاً 20٪ بر مبنای وزن تر است توسط دستگاه ردیف کن شانه ای زیر و رو می کنند و سپس توسط دستگاه بسته بند، علوفه را به بسته های مکعبی و استوانه ای بصورت فشرده در می آورند.

بسته بندی یونجه در رطوبت کمتر از 20٪ منجر به ریزش بیشتر محصول می شود. در مدیریت برداشت در برخی مناطق برای به حداقل رسانیدن تلفات محصول معمولاً عمل بسته بندی یونجه در ساعات ابتدایی و انتهایی روز که درصد رطوبت یونجه به دلیل وجود شبنم و رطوبت نسبی هوا مناسب است، انجام می شود. از آنجاکه تراکم پذیری بسته های یونجه به محتوای رطوبتی، بلوغ و چین برداشت آن شدیداً وابسته است لازم است تراکم بسته ها متناسب با محتوای رطوبتی محصول توسط راننده دائماً کنترل گردد. در غیر این صورت بسته ها یا بیش از حد فشرده می شوند که باعث ایجاد کپک زدگی می گردد و یا کمتر از حد متراکم شده اند که هزینه حمل و نقل و انبارداری را افزایش می دهد. در حین کار در اوایل صبح با بالا آمدن آفتاب و زایل شدن اثر شبنم رطوبت یونجه به مرور کاهش می یابد و راننده باید در دفعات متعدد اقدام به تنظیم مقدار فشرده گی معین توسط دستگاه نماید. این کار باعث توقف دستگاه و صرف وقت زیادی می شود و از طرفی به مهارت و مسئولیت پذیری راننده بر می گردد. بنابراین ساخت یک حسگر رطوبت جهت اندازه گیری رطوبت بسته های علوفه ضروری به نظر می رسد. به طور کلی می توان ضرورت ساخت یک حسگر رطوبت را برگرفته از موارد زیر دانست:

- 1- جلوگیری از کپک زنی علوفه و حفظ کیفیت آن با تنظیم فشرده گی مناسب برای بسته ها،
- 2- کاهش هزینه های حمل و نقل و نگهداری با دستیابی به بسته های متراکم تر و

3 -افزایش زمان بسته بندی علفه در یک روز کاری (افزایش بازده کاری).

مواد و روشها

حسگر رطوبت با استفاده از امواج فراصوت

امواج فراصوت مانند هر موج دیگری پس از برخورد به سطح مشترک ماده و محیط مقداری از آن منعکس شده و مقداری هم از آن عبور می کند. اکثر روش های فراصوتی بر دو اساس عبور یا انعکاس امواج از درون و یا سطح ماده استوارند.

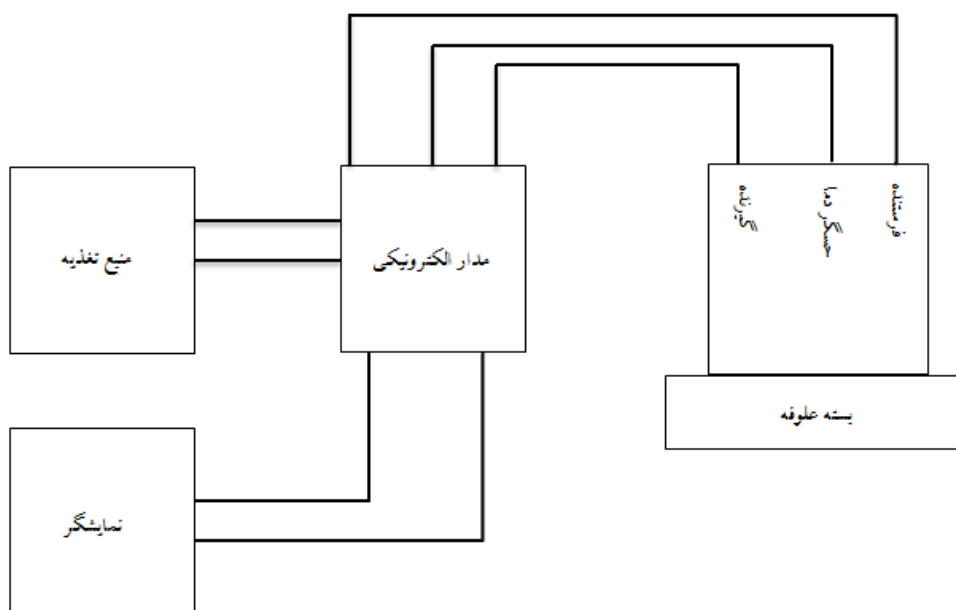
براساس روش عبوری نمونه بین فرستنده و گیرنده فراصوت قرار می گیرد و با تحلیل میرایی دامنه با سرعت موج عبوری از نمونه، محتوای رطوبتی نمونه برآورد می شود. در روش انعکاس، نمونه مقابل فرستنده و گیرنده فراصوت قرار می گیرد و موجی توسط فرستنده ارسال شده و بوسیله گیرنده دریافت می شود که با تغییر سرعت یا میرایی موج دریافتی نسبت به تغییرات محتوای رطوبتی علفه میزان رطوبت علفه بدست می آید.

طراحی و ساخت حسگر رطوبت فراصوتی در حالت بازتابی

حسگر رطوبتی فراصوت ساخته شده از قسمت های زیر تشکیل شده است:

- 1) منبع تغذیه
- 2) ترانسدیوسرهای فراصوت 40 کیلوهرتز
- 3) مدار الکترونیکی
- 4) موج بر
- 5) حسگر دما
- 6) نمایشگر

در شکل (1) روندنمای حسگر ساخته شده نشان داده شده است.



شکل 1- روندنمای حسگر رطوبت فراصوتی در حالت بازتابی

1) منبع تغذیه

مدار این حسگر با باتری 12 ولت راه اندازی می شود که در این پژوهش از باتری تراکتور جاندیر 3140 استفاده شد.

2) ترانسدیوسر²های فراصوت

ترانسدیوسرها قلب تپنده دستگاه های تولید کننده امواج فراصوت هستند . حلقه های پیزوالکتریک موجود در ترانسدیوسرها، جریان الکتریسیته را به ارتعاش تبدیل می کنند و باعث تولید امواج فراصوت با فرکانس های بالا می- شوند. ترانسدیوسر فراصوت غیر تماسی و مجاورتی یا پراگسیمیتی³ می باشد. در کاربردهای گوناگون آشکار سازی اجسام تا اندازه گیری فاصله یا سطح سنجی به کار می رود. به طور معمول ترانسدیوسرهای فراصوت با ارسال یک پالس صوتی کوتاه در فرکانس فراصوت به سمت هدفی که این پالس را منعکس می کند و دریافت و شناسایی این امواج به شکل یک فرستنده-گیرنده عمل کرده و در مدل هائی که فاصله را محاسبه می کنند با اندازه گیری اختلاف زمانی ارسال و دریافت پالس می توانند به فاصله یاب تبدیل شوند. در این پژوهش از ترانسدیوسرهای با بسامد 40 کیلوهرتز استفاده شد. یکی از ترانسدیوسرهای فراصوت فرستنده و دیگری گیرنده می باشد که باید با توجه به فرکانس کاری آن ها، یک موج با فرکانسی در محدوده فرکانس فراصوت (40 کیلوهرتز) بر پایه ترانسدیوسر فرستنده ارسال شود. اصول کار این ترانسدیوسرها براساس بازگشت موج می باشد به این ترتیب که ابتدا یک موج با فرکانس حدود 40 کیلوهرتز توسط فرستنده تولید شد و با بازگشت آن میزان میرایی دامنه آن بوسیله فرمول (1) بدست آورده شد.

$$A(L) = A_0 e^{-al} \quad (1)$$

3) مدار الکترونیکی

مدار پردازشگر از بخش های مختلفی تشکیل شده است که به شرح زیر می باشد:
مدار تقویت کننده سیگنال مربعی و آماده سازی آن برای ارسال (مدار فرستنده)
مدار گیرنده سیگنال بازگشتی و تقویت کننده آن (مدار گیرنده)
مدار آشکار ساز سیگنال بازگشتی
مداری برای تعیین مقدار رطوبت که مهمترین بخش این حسگر می باشد.
مدار نمایشگر

در ادامه به شرح کوتاهی از هر جزء این حسگر پرداخته می شود:

مدار پردازشگر برای تعیین مقدار رطوبت

در این بخش از یک میکرو کنترلر AVR سری ATmega 32 استفاده شده است. کنترلر انجام چندین وظیفه مهم را بر عهده دارد، که به شرح زیر می باشد .

الف) ساخت یک موج مربعی و ارسال آن به مدار تقویت کننده

ب) تبدیل سیگنال بازگشتی به دیجیتال توسط مدار ADC داخلی میکروکنترلر

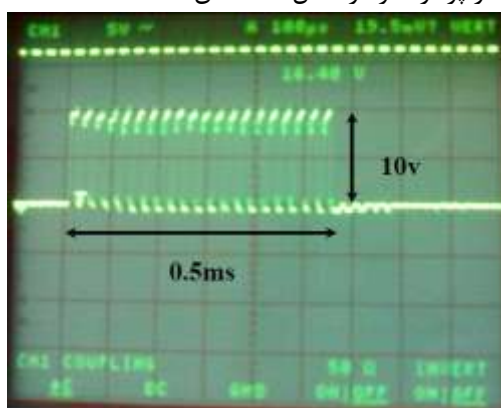
ج) تبدیل سیگنال ورودی از حسگر دما و تبدیل از آنالوگ به دیجیتال توسط مدار ADC داخلی میکروکنترلر

د) پردازش سیگنال بازگشتی و اصلاح آن توسط ضریب دمایی

²-Transducer

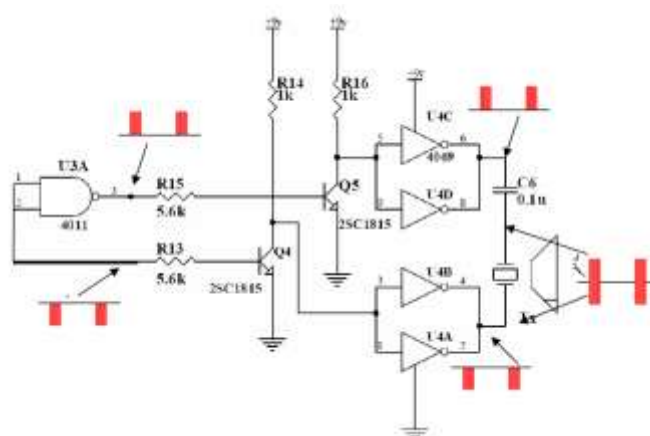
³- Proximity

ه) انجام پردازش های متعدد و تبدیل سیگنال بازگشتی به مقدار رطوبت
ی) ارسال داده های جمع آوری شده (اعم از اندازه دمای محیط، رطوبت، موقعیت بادامک) به مدار نمایشگر
مدار فرستنده سیگنال فراصوت
پالس 40 کیلوهرتز ایجاد شده توسط میکروکنترلر جهت ایجاد تغییر فاز به یک *Not (4011)* داده شده است.
در اینجا دو سیگنال معکوس یکدیگر با سطح ولتاژ 5 ولت تولید می شود. برای افزایش سطح ولتاژ، دو سیگنال به
مدار سوئیچینگ ترانزیستوری اعمال شده، تا سطح ولتاژ تا 9 ولت افزایش یابد. جهت تقویت جریان و تصحیح زمان
صعود و نزول پالس ها از معکوس کننده های سرعت بالای CMOS استفاده شده است. سیگنال 40 کیلوهرتز تقویت
شده از طریق یک خازن (حذف جریان DC) و به سرم مثبت ترانسدیوسر و سیگنال دیگر با 180 درجه اختلاف فاز به
سرم منفی اعمال می شود. حدود دو برابر ولتاژ خروجی معکوس کننده به ترانسدیوسر فرستنده اعمال می شود.
موج مربعی تولید شده توسط مدار پردازشگر در شکل (2) نشان داده شده است.



شکل 2- موج مربعی تولید شده توسط مدار پردازشگر.

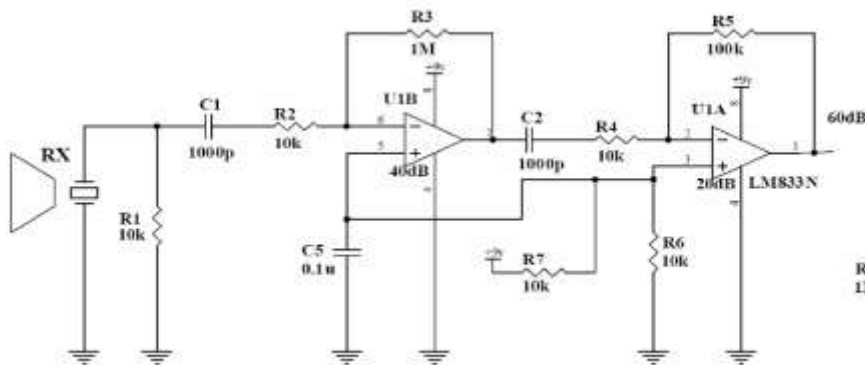
در شکل (3) مدار طراحی شده برای فرستنده سیگنال فراصوت نشان داده شده است.



شکل 3- مدار فرستنده سیگنال فراصوت.

مدار گیرنده سیگنال فراصوت

سیگنال فراصوت دریافت شده توسط ترانسدیوسر گیرنده دارای سطح ولتاژ پایینی است، از این رو برای اینکه سطح ولتاژ سیگنال به حد مطلوب برای سایر طبقات مدار برسد، از مدار پیش تقویت کننده ای با گین^۴ 60 دسی بل استفاده می کنیم . این تقویت کننده از دو طبقه تقویت کننده *OpAmp* تشکیل شده است . طبقه اول با گین 40 دسی بل و طبقه دوم با گین 20 دسی بل تقویت شد . هر دوی این تقویت کننده ها از نوع *Inverting* می باشند. عموماً در تقویت کننده های آپامپی از دومنبع تغذیه مثبت و منفی برای راه اندازی آپامپ استفاده می شود، اما در اینجا از یک منبع تغذیه 9 ولت استفاده شد. ورودی *NonInverting* با یک تقسیم مقاومتی ولتاژ 4/5 ولتی دارد و سیگنال خروجی ترانسدیوسر به ورودی *Inverting* اعمال شد. مدار گیرنده سیگنال فراصوت در شکل (4) نشان داده شده است.



شکل 4- مدار گیرنده فراصوت.

مدار آشکار ساز سیگنال بازگشتی

آشکار سازی با آشکار کردن سیگنال فراصوت دریافتی انجام می گیرد اینکار به وسیله یکسو کننده نیم موج که از دیودهای مسدود کننده شاتکی استفاده می کند، انجام می شود.

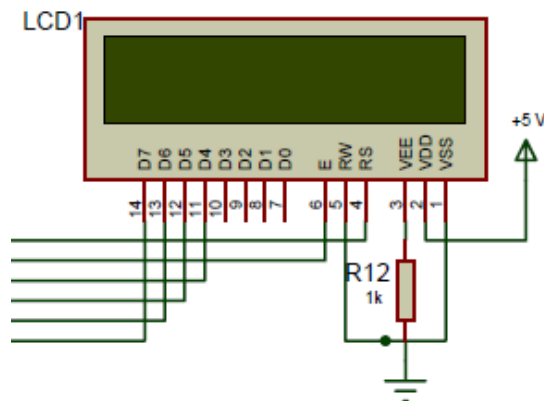
مدار نمایشگر

جهت نمایش اطلاعات دریافتی از یک LCD 16x2 کارا کتری استفاده شده است که اطلاعات بدست آمده توسط میکرو کنترلر را در دو سطر به طور مجزا نمایش می دهد. این مدار در شکل (5) نشان داده شده است.

مدار تغذیه

برای تغذیه قسمت های مختلف مدار حسگر به سطح ولتاژهای مختلفی نیاز می باشد. با توجه به این که در محل نصب حسگر منبع تغذیه 12 ولت (باتری 12 ولت تراکتور جاندر 3120) موجود است در مدار تغذیه از دو رگولاتور ولتاژ استفاده شد. ولتاژ خروجی 5 ولت و 9 ولت از این دو رگولاتور بدست می آید. همان طور که اشاره شد ولتاژ 5 ولت جهت تغذیه مدار کنترلر و نمایشگر مورد استفاده قرار می گیرد و ولتاژ 9 ولت جهت تغذیه مدار فرستنده و گیرنده استفاده می شود .

^۴Gain



شکل 6- مدار نمایشگر.

4) موج بر

یکی از مهم ترین قسمت های طراحی حسگرهای فراصوت طراحی موج بر آن می باشد. برای طراحی موج بر جنس موج بر، طول و قطر مهم می باشد.

برای انتخاب جنس موج بر باید جنسی انتخاب شود که موجی که داخل موج بر ارسال می شود بوسیله موج بر جذب نشود. پس از بررسی های مختلف تفلون انتخاب شد. برای ساخت موج بر یک محور به قطر 110 میلی متر از جنس تفلون تهیه شد. در مرحله بعد قطر و طول موج بر تعیین شد. قطر موج بر بر اساس فاصله بین ترانسدیوسر فرستنده و گیرنده و همچنین فاصله این دو ترانسدیوسر از سطح داخلی موج بر مشخص می شود. فاصله بین دو ترانسدیوسر از این لحاظ دارای اهمیت می باشد که اگر این فاصله کم باشد موج ارسالی با موج بازتاب شده تداخل پیدا می کند و باعث ایجاد خطا می شود همچنین اگر فاصله ترانسدیوسرها با سطح داخلی موج بر کم باشد امکان برخورد موج به سطح داخلی موج بر وجود دارد.

بنابراین برای بدست آوردن بهینه این فاصله ها با قرار دادن یک بسته علوفه جلوی ترانسدیوسر ها و تغییر دادن فاصله ی بین ترانسدیوسرها و نمایش موج ها بر روی یک نوسان نمای دیجیتال بهترین مقدار فاصله بین ترانسدیوسر - ها و فاصله ترانسدیوسرها از سطح داخلی موج بر مشخص شد. مقدار این فاصله ها به ترتیب زیر می باشد:

فاصله بین ترانسدیوسرها 30 میلی متر ، فاصله بین ترانسدیوسرها و سطح داخلی موج بر نیز 30 میلی متر می باشد . بر اساس این فاصله ها قطر داخلی موج بر 100 میلی متر انتخاب شد که با عملیات تراشکاری روی محور تفلون موج بر با قطر مورد نظر آماده شد.

در مرحله بعد باید بهینه طول موج بر مشخص شود. طول موج بر از این لحاظ مهم می باشد که اگر این طول زیاد باشد موج در طول مسیر میرا می شود و اگر فاصله کم باشد موج بخوبی ارسال نشده و نتایج با خطا همراه می شوند. برای تعیین طول موج بر ابتدا چند بسته علوفه با رطوبت مختلف آماده شد سپس با آزمایش این حسگر در مقابل این بسته ها و با تغییر دادن فاصله بین ترانسدیوسرها و بسته های علوفه بهترین فاصله برای طول موج بر انتخاب شد که این فاصله 300 میلی متر می باشد. در (شکل 7) این موج بر نشان داده شده است.



شکل 7- موج بر.

5) حسگر دما

تغییرات دما روی امواج فراصوت تاثیر می گذارند. برای اندازه گیری دما از یک حسگر دما (LM32) استفاده شد . این حسگر در دامنه 0-85 درجه سانتی گراد جوابگو می باشد و ولتاژ مورد نیاز برای راه اندازی آن 3-3/6 ولت می باشد.

واسنجی حسگر

بعد از اتمام مراحل ساخت حسگر اندازه گیر رطوبت علوفه، آزمون واسنجی به منظور تهیه منحنی های تغییر خروجی حسگر با تغییرات رطوبت بسته های علوفه و تغییرات دمای محیط انجام گرفت. آزمایش واسنجی حسگر به صورت استاتیکی و کنار سوله ی ماشین های کشاورزی در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. بسته ها با رطوبت های مختلف جهت انجام آزمایش آماده شد. برای شروع آزمایش حسگر با استفاده از یک منبع تغذیه 12 ولتی تغذیه شد.

برای انجام آزمایش موج بر بصورت عمودی بر روی بسته های یونجه با رطوبت مختلف قرار داده شد و خروجی حسگر بر روی نمایشگر نشان داده و مقدار آن ثبت شد (شکل 8).



شکل 8- قرار دادن موج بر روی بسته علوفه بصورت عمودی.

برای واسنجی خروجی حسگر نسبت به تغییرات دمای محیط همه مراحل واسنجی خروجی حسگر نسبت به

تغییرات رطوبت در شرایط دمایی مختلف در رطوبت 20 درصد انجام شد. با رسم منحنی تغییرات خروجی حسگر با تغییرات رطوبت بسته ها و تغییرات دمایی محیط، منحنی های واسنجی حسگر رطوبت بدست آمد.

نتایج و بحث

واسنجی حسگر رطوبت

با توجه به اینکه حسگر ساخته شده بایستی محتوای رطوبت بسته های علوفه را اندازه گیری کند، بسته های علوفه با رطوبت های مختلف جهت واسنجی حسگر رطوبت بکار گرفته شد.

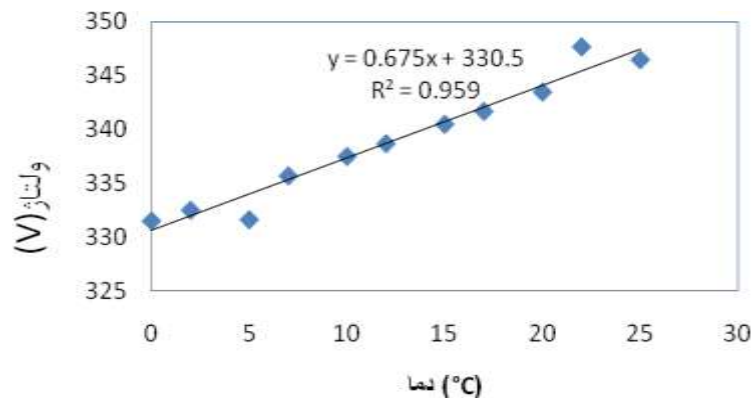
واسنجی حسگر فراصوت

برای واسنجی حسگر فراصوت بعد از آماده سازی نمونه ها و با قرار دادن موج بر روی بسته ها تغییرات خروجی حسگر با تغییرات محتوای رطوبت واسنجی شد.

در حسگر رطوبت ساخته شده یک حسگر دما (LM32) در داخل موج بر قرار داده شد که دما را اندازه گیری می کرد با بدست آوردن منحنی واسنجی و تعریف این منحنی برای میکروکنترلر مقدار تغییر ولتاژ در خروجی حسگر که ناشی از تغییر دما بود حذف شد.

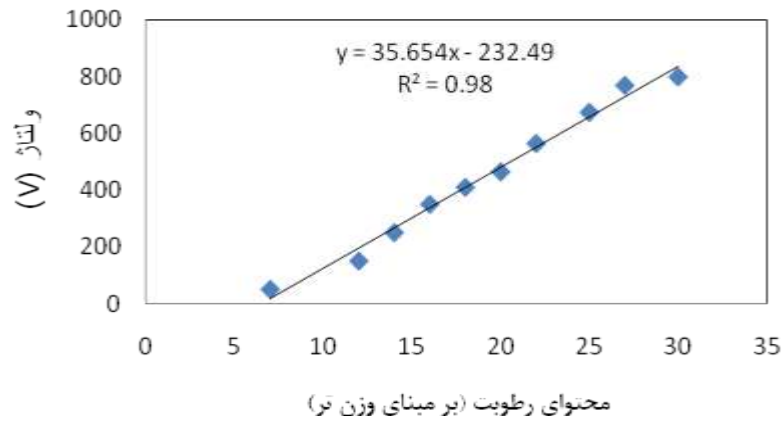
با توجه به اینکه تغییرات دما روی خروجی حسگر ساخته شده تأثیر گذار می باشد ابتدا حسگر ساخته شده نسبت به تغییرات دما واسنجی شد، پس از آن با از بین بردن اثر دما خروجی حسگر نسبت به تغییرات محتوای رطوبتی واسنجی شد.

در شکل (9) نمودار واسنجی حسگر نسبت به تغییرات دما در رطوبت 20 درصد نشان داده شده است.



شکل 9- واسنجی حسگر نسبت به دما در رطوبت 20 درصد.

پس از حذف اثر دما، خروجی حسگر نسبت به تغییر محتوای رطوبتی بسته های علوفه واسنجی شد. پس از تهیه بسته های علوفه با رطوبت های مختلف و ثبت تغییرات خروجی حسگر با تغییرات رطوبت حسگر رطوبت واسنجی شد. در شکل (10) منحنی واسنجی حسگر نسبت به تغییرات محتوای رطوبتی بسته ها نشان داده شده است.



شکل 10- واسنجی حسگر نسبت به محتوای رطوبت بسته‌ها.
همانطور که در نمودار مشخص است خروجی حسگر نسبت به تغییرات رطوبت با $R^2 = 0.98$ خطی می باشد.

منابع

- [1] بهروزی لار، م و ح، مبلی. 1386. اصول طراحی ماشین های کشاورزی. انتشارات معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی .
- [2] بی نام. 1382. سالنامه آماری کشور. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. مرکز آمار ایران.
- [3] جابری معز، م. 1380. طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه نمونه پرس علوفه . پایان نامه کارشناسی ارشد . دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.
- [4] خورسندی، آ. 1386. طراحی، ساخت و ارزیابی حسگرهای اندازه گیر مقاومت مکانیکی و رطوبت خاک به صورت بلادرنگ، پایان نامه ی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. صفحات 2-6.
- [5] زارع پور، غ. 1382. طراحی اجزاء ماشین (ترجمه). انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی.

- [6] AFZALINA, S., A. A. MASOMI, A. KARIMI, AND D. MOHAMMADI. 2009. EFFECT OF BALE DENSITY AND MOISTURE CONTENT ON THE LOSSES OF BALED ALFALFA. INTERNATIONAL CONGRESS ON MECHANIZATION AND ENERGY IN AGRICULTURE. ROUSSE, BULGARIA, 01-03.10. 2009 .
- [7] BECHAR, A., A. MIZRACH, P. BARREIRO, AND S. LANDAHL. 2005. DETERMINATION OF MEALINESS IN APPLES USING ULTRASONIC MEASUREMENTS. BIOSYSTEMS ENGINEERING. 91: 329-334.
- [8] BEYER, R. T., AND S. V. LETCHER. 1969. PHYSICAL ULTRASONIC. ACADEMIC PRESS, INC. PP. 1-12, 361.
- [9] BLANCO, S. F., E. R. F SARABIA, V. M., A. APARICIO, A. B. BLANCO, AND J. A. G. JUAREZ. 2006. FOOD DRYING PROCESS BY POWER ULTRASOUND. ULTRASONICS 44: e523-e527.
- [10] BLITZ, J., AND G. SIMPSON 1996. ULTRASONIC METHODS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING. CHAPMAN AND HALL, PP. 1-18.
- [11] CARULLO, A., PARVIS, M., AND A. VALLAN, 1997. WATER CONTENT MEASUREMENT IN GRANULAR MATERIALS USING ULTRASONIC WAVES. IEEE INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE OTTAWA, CANADA, PP. 1246-1251.
- [12] GOECKNER, V. D., AND I. VIRDEN. 1993. BALER WITH LOAD SENSOR. U.S.PATENT. No.859, 235.
- [13] GOTTLBER, D. 2001. BALER-DENSITY MEASURING SYSTEM FOR BALER. U. S. PATENT. No. 6,248,963 B1.
- [14] JEON, Y. H., H. ZHU., R. DERKSEN., E. OZKAN AND C. KRAISE. 2011. EVALUATION OF ULTRASONIC SENSOR FOR VARIABLE-RATE SPARAY APPLICATION, *COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE*. 75: 213-221.
- [15] KIM, K. B., S. LEE, M. S. KIM, AND B. Y. K. CHO. 2009. DETERMINATION OF APPLE FIRMNESS BY NONDESTRUCTIVE ULTRASONIC MEASUREMENT, *POSTHARVEST BOIL. TECHNOL*. 52: 44-48.
- [16] KOCIS, S. AND Z. FIGURA. 1996. ULTRASONIC MEASUREMENT AND TECHNOLOGIES. CHAPMAN AND HALL. PP. 1-5, 29.
- [17] LAWRENCE, K. C., FUNK, D. B. AND W. R. WINDHAM. 1999. PARALLEL-PLATE MOISTURE SENSOR FOR YELLOW-DENT FIELD CORN. *ASAE*, 42(5): 1353-1357.
- [18] LESTER, W, AND JR. SCHMERR. 1984., ULTRASONIC NONDESTRUCTIVE EVALUATION SYSTEMS: MODELS AND MEASUREMENTS. *SPRINGER SCIENCE BUSINESS MEDICA, LLC*. PP. 18.