طراحی، ساخت و ارزیابی توان سنج الکتریکی با قابلیت مونیتورینگ

غلامرضا روحی[۱]- سعید مینایی[۲]- میر حسین پیمان[۳]

چکیده

توان سنج ساخته شده، توان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی که متصل به یک دستگاه مثل پوست‌کن می‌باشد را بصورت دیجیتالی اندازه گیری نموده و نتایج را روی صفحه مونیتور یک کامپیوتر نشان می‌دهد. هدف اصلی نشان دادن روند مصرف انرژی توسط دستگاه کاربر، در طی انجام فرآیند مربوطه بصورت نمودار می‌یاشد. برای اندازه گیری توان ابتدا سه کمیت ولتاژ، جریان و ضریب توان توسط مدار طراحی شده اندازه گیری شد و سپس داده‌ها توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده تحت زبان $C++$ به کامپیوتر منتقل و پردازش گردید.

برای ارزیابی توان سنج ساخته شده در اندازه گیری توان یک وسیله برقی تک فاز، از یک وات متر آنالوگ که قدرت اندازه گیری توان خطوط برق تک فاز و سه فاز را داشت استفاده گردید. وسایل الکتریکی مورد استفاده جهت این ارزیابی عبارت بودند از: پنکه برقی ۶۰ وات، لامپ الکتریکی ۱۰۰ وات و موتور الکتریکی ۲۵۰ وات. پس از انجام آزمایشات آماری و تحلیل داده‌های بدست آمده، خطای اندازه گیری حدوداً ۲٪ بدست آمد که قابل قبول می‌باشد.

۱- کارشناس ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی

۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۳- عضو هیئت علمی دانشگاه گیلان گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی

۱)مقدمه:

با توجه به اهمیت نقش انرژی در توسعه و کارایی کشاورزی مدرن امروز و همچنین با توجه به بحران انرژی که امروزه موضوع اصلی مورد بحث دانشمندان و سیاست گذاران می‌باشد، تمام تلاشها بر این اصل استوار است که مصرف انرژی در انجام فرآیندهای مختلف کاهش یابد و به حداقل برسد. کاربرد انرژی الکتریکی در کشاورزی و فرآیند تبدیل محصولات بسیار زیاد است و مقدار زیادی از این انرژی توسط موتورهای الکتریکی نصب شده بر روی دستگاههای مورد استفاده در این بخش مصرف می‌شود. توان سنج‌های موجود در بازار بطور مستقیم توان متوسط را اندازه می‌گیرند و قابلیت اندازه گیری میزان مصرف انرژی در هر لحظه از زمان و مونیتورینگ کردن شرایط مصرف انرژی توسط مصرف کننده مربوطه را ندارند. به همین دلیل تصمیم به ساخت توان سنجی گرفته شد که بتواند میزان انرژی مصرفی(بر حسب ژول) و توان لحظه‌ای و متوسط(بر حسب وات) را در هر لحظه از زمان اندازه گیری نماید و نتایج را بصورت نمودار و اعداد بر روی صفحه مونیتور نشان دهد.

۲)مواد و روشها

میزان انرژی مصرفی از حاصلضرب توان اندازه گیری شده در مدت زمان انجام عملیات بدست می‌آید. برای اندازه گیری توان مصرفی از دو روش استفاده می‌شود.

در روش اول سخت افزار شامل دو بخش نمونه بردار از جریان و ولتاژ می‌باشد و از ضرب مستقیم منحنی ولتاژ و جریان و بدست آوردن منحنی توان لحظه‌ای و آنگاه میانگین گیری از آن در یک دوره تناوب، توان دستگاه بدست می‌آید[۲].

$$P(t) = v(t).i(t) \qquad (۱)$$

$P(t)$: توان لحظه‌ای(وات)

$v(t)$: ولتاژ لحظه‌ای(ولت)

$i(t)$:جریان لحظه‌ای(آمپر)

$$P_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)d(t) \qquad (۲)$$

P_{av}:توان متوسط(وات)

T:دوره تناوب

اگر در این روش بخواهیم ضریب توان دستگاه($Cos\varphi$) را بدست آوریم باید از نرم افزار نوشته شده و نمونه‌های بدست آمده از جریان و ولتاژ استفاده کرد. چون نمونه برداری با ADC [۱] های معمولی با سرعت پایین انجام می‌شود، دقت اندازه گیری ضریب توان کم می‌باشد.

1-Analog Digital Converter

در روش دوم مقدار موثر جریان و ولتاژ اندازه گیری می‌شود و ضریب توان بصورت سخت افزاری با اندازه گیری عرض پالس متناسب با اختلاف فاز با دقت بالا تعیین می‌شود و مقدار توان بوسیله رابطه زیر تعیین می‌شود [۲] :

$$P = \frac{1}{2} V_m . I_m . Cos\varphi \qquad (۳)$$

V_m:ولتاژ موثر

I_m:جریان موثر

برای ساخت توان سنج مورد نیاز برای انجام این پروژه، از روش دوم استفاده شد. بنابراین نیاز به اندازه گیری سه کمیت ولتاژ، جریان و ضریب توان بود.

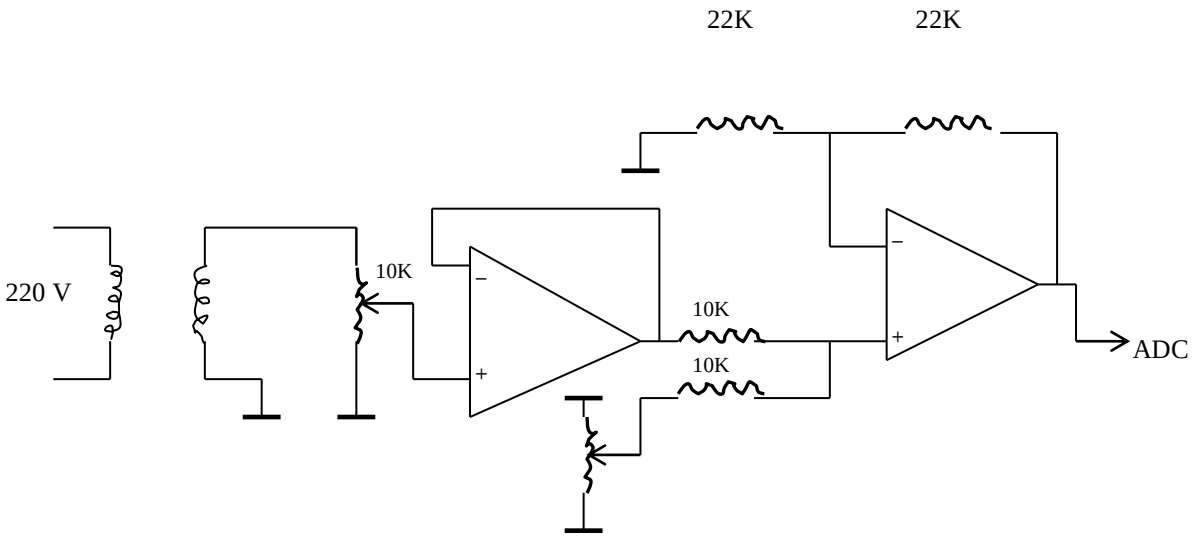
۲-۱) اندازه گیری ولتاژ موثر

برای نمونه برداری از ولتاژ خط، ابتدا به کمک یک ترانس، ولتاژ $۲۲۰ V$ به $۱۲ V$ تبدیل شد. آنگاه این ولتاژ توسط پتانسیومتر به اندازه کافی کوچک شده و به کمک مدار نشان داده شده در شکل ۱ نمونه ها به کارت ADC منتقل شده و توسط میکروکنترلر مدل ۸۹۵۱ نمونه گیری انجام می‌شود. برای محاسبه مقدار ولتاژ موثر، در هر سیکل ۱۰۰ نمونه برداشته می‌شود و به کمک رابطه زیر مقدار آن محاسبه می‌شود [۲]:

$$V_m = \left[\frac{1}{100} \sum_{n=1}^{100} V^2(n) \right]^{1/2} \qquad (۴)$$

V_m:ولتاژ موثر

$V(n)$:اندازه نمونه ولتاژ nام



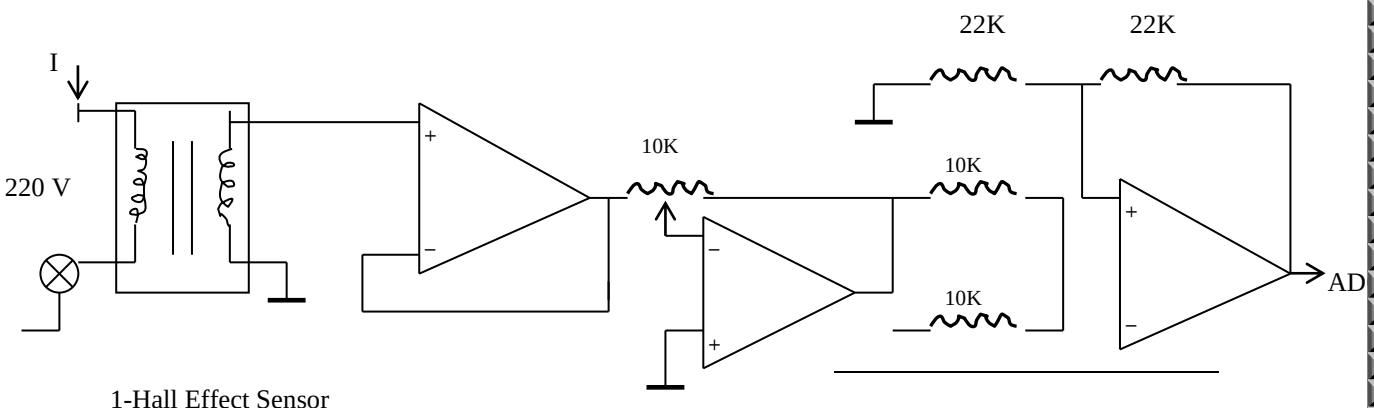
شکل۱- مدار اندازه گیری ولتاژ موثر

۲-۲) اندازه گیری جریان موثر

اندازه گیری جریان نیاز به ابزار خاصی دارد. زیرا اولاً جریان بطور مستقیم قابل اندازه گیری نیست و باید به یک ولتاژ تبدیل شود و ثانیاً این تبدیل باید بدون هرگونه تاثیر در مقدار جریان اندازه گیری شده باشد. معمولاً به سه روش جریان را می توان اندازه گرفت.

می دانیم هرگاه از یک المان خطی مانند مقاومت، ولتاژی عبور نماید متناسب با آن ولتاژ، جریانی در دو سر مقاومت ظاهر می‌شود که با دانستن مقدار مقاومت از روی مقدار ولتاژ، می‌توانیم مقدار جریان عبوری را اندازه بگیریم که این ساده ترین روش می‌باشد. اما شرط اندازه گیری صحیح جریان در این روش آن است که اولاً مقاومتی داشته باشیم که در یک محدوده مشخص جریان، کاملاً خطی عمل نماید و ثانیاً از آنجایی که با عبور جریان از مقاومت، توان $\mathcal{R}\, I^2$ در آن تلف می‌شود و این تلفات بصورت گرما ظاهر می‌گردد، باید عنصر مقاومتی با تغییر دما، دارای مقاومت ثابت باشد. مقاومتهای موجود چنین خاصیتی را ندارند و باید از مقاومتهایی خاص با قیمت بسیار بالا استفاده کرد *[۳]*.. روش دیگر قابل استفاده، به کار بردن نوعی حسگر به نام سنسور هال[1] می‌باشد که بر اساس خواص نیمه هادی‌ها ساخته می‌شود و شرح کاملی از آن در کتابهای فیزیک الکترونیک و فیزیک الکتریسیته موجود است *[۳]*.

روش سوم به کار بردن نوعی ترانس جریان با هسته فریت می‌باشد. در این روش سیم حامل جریان حول هسته پیچیده می‌شود و بعنوان سیم پیچ اولیه ترانس می‌باشد و در عین حال مقاومتی در مسیر جریان ایجاد نمی‌شود. سپس به تعداد مناسب دور ثانویه پیچیده شده و به این ترتیب یک مبدل جریان به ولتاژ خطی ایجاد می شود *[۳]*.. برا ی اندازه گیری جریان موثر، از این روش استفاده شد. یک هسته فریت با ۵ دور سیم پیچ اولیه با سیم کم مقاومت و ۲۵۰ دور سیم پیچ ثانویه با استفاده از سیم ۰/۱۲ میلیمتر به عنوان سنسور جریان بکار برده شد. این ترانس بصورت یک المان دو دهنه(چهارسر) در مدار مورد استفاده قرار گرفت. سیم پیچ اولیه آن بصورت سری در مسیر جریان می‌باشد. مدار مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است. داده‌ها توسط میکروکنترلر خوانده شده و جهت پردازش نهایی توسط نرم افزار، به کامپیوتر انتقال داده می‌شود.



1-Hall Effect Sensor

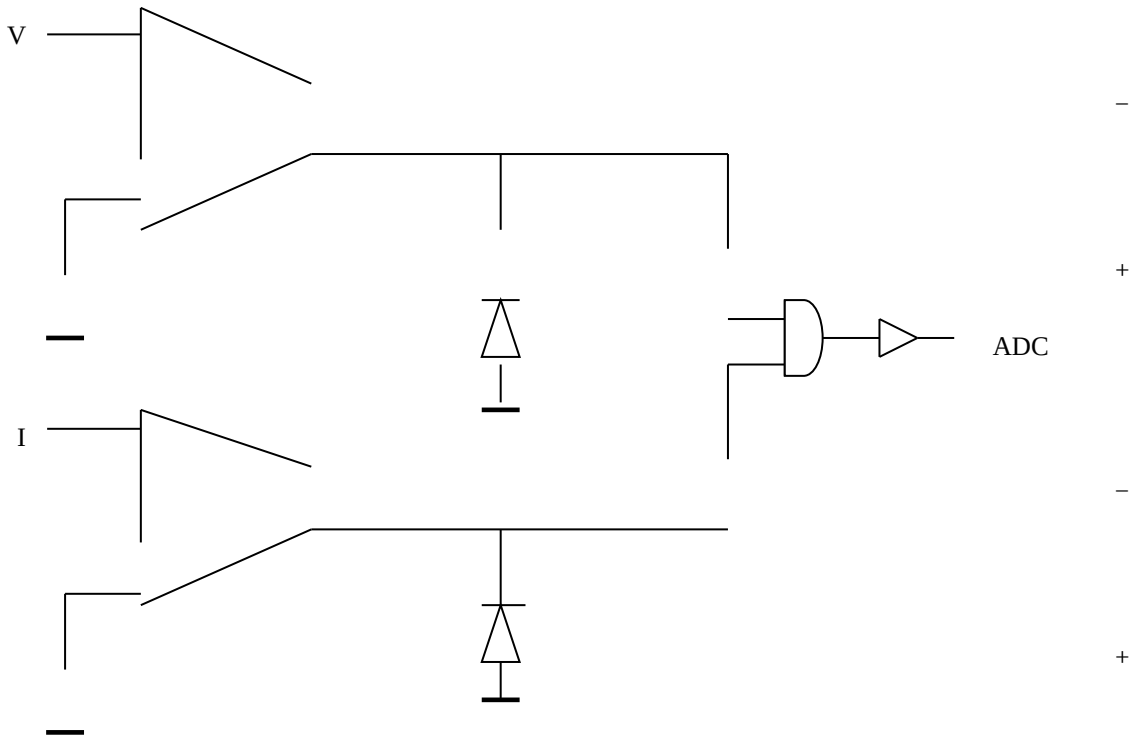
+2.5V

شکل۲- مدار اندازه گیری جریان موثر

۲-۳) اندازه گیری ضریب توان($Cos\varphi$)

برای اندازه گیری اختلاف فاز جریان و ولتاژ (φ)، ابتدا بـه کمـک دو مقایسـه کننـده، ولتـاژ و جریان را به دو موج مربعی تبدیل کرده و آنگاه بوسیله یک گیت AND و در پی آن با اسـتفاده از گیت NOT اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را بصورت یک پالس با سطح LOW تبدیل مـی‌کنیم [۳].. به کمک میکروکنترلر ۸۹۵۱ و با استفاده از تایمر ۱۶ بیتی عرض پالس با سطح LOW اندازه گیری شده و مقدار حاصل به کامپیوتر ارسال می‌شود.

پس از اندازه گیری این سه پارامتر و عبور داده ها از ADC و گرفتن مقادیر توسط میکروکنترلـر و انتقال آنها به کامپیوتر، داده‌ها توسط نرم افزار گرافیکی که تحت زبـان C^{++} نوشـته شـده اسـت، پردازش شده و نمودار توان و زمان، میزان ولتاژ و جریان انـدازه گیـری شـده در هـر زمـان، انـرژی مصرفی دستگاه در زمان معین و توان موتور الکتریکی متصل به دستگاه تعیین می‌شود. ارتباط ایـن دستگاه با کامپیوتر از طریق پورت موازی (*Parallel port*) کامپیوتر می‌باشد.



شکل۳- مدار اندازه گیری ضریب توان

۲-۴) نرم افزار مورد استفاده

نرم افزار نوشته شده برای این پروژه، یک نرم افزار منویی و تمام گرافیکی می‌باشد که کلیه فرامین کاربر را بدون نیاز به هر گونه تایپ فرمان و فقط به کمک کلیدهای جهت دار و برخی کلیدهای ترکیبی از روی صفحه کلید کامپیوتر اجرا می‌نماید و در اینجا به معرفی گزینه های اجرایی آن پرداخته می‌شود.

Start- این گزینه جهت شروع عمل اندازه گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. قبل از انتخاب آن باید توان سنج را روشن کرده و وسیله مصرف کننده(مثل یک پوست‌کن) را به آن وصل کرده و آن را راه اندازی کنیم. سپس با زدن کلید *Enter* ، عمل اندازه گیری آغاز می‌شود. پس از زدن این کلید، مقادیر ولتاژ خط، جریان مصرفی، مقدار توان بر حسب وات و انرژی کل مصرفی برحسب کیلو ژول و منحنی تغییرات توان بر روی مونیتور نمایش می‌یابد. هر بار کاربر کلیدی را فشار دهد، اندازه گیری متوقف می شود.

Open- این گزینه برای انتخاب فایل‌های ذخیره شده بکار برده می‌شود. هرگاه فایل خواسته شده در فایل‌های ذخیره شده توسط نرم افزار نباشد، پیغام مناسب اعلام می‌گردد.

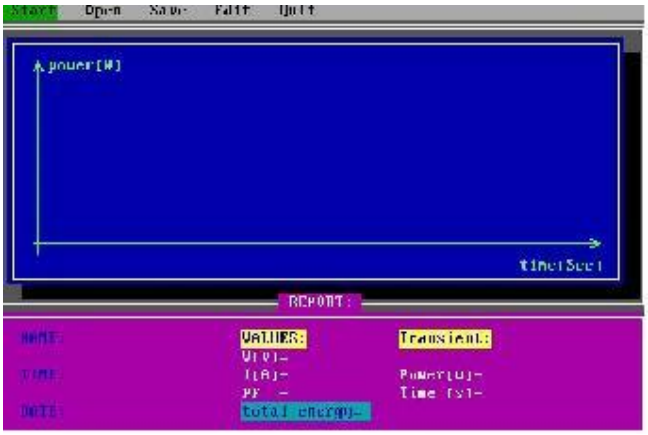
Save- از این گزینه برای ذخیره اطلاعات اندازه گیری شده توسط دستگاه استفاده شده و بوسیله آن آخرین اطلاعات بدست آمده ذخیره می‌شود.

Edit- با انتخاب این گزینه، یک برگه حاوی مشخصات ظاهر می‌شود که کاربر می‌تواند، نام خود و زمان و تاریخ اندازه‌گیری را وارد کند.

Quit- با انتخاب این گزینه، از برنامه خارج شده و به محیط ***dos*** بر میگردیم.

ابزار ویژه‌ای جهت حرکت افقی یک مکان نما روی منحنی تغییرات توان در این نرم افزار تعبیه شده است که بوسیله آن می‌توان پس از پایان اندازه گیری، مقدار توان در هر لحظه را تعیین کرد. برای نمایش این ابزار از کلیدهای اشتراکی *Ctrl+B* و برای حذف آن از کلیدهای اشتراکی *Shift+B* استفاده می‌شود. پس از ساخت این دستگاه ، عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در مبحث ۳ ارائه شده است. در شکل ۴ تصویر این توان سنج در هنگام کار و در شکل ۵ صفحه گرافیکی نرم افزار دستگاه که حاوی اطلاعات مورد نیاز است داده شده است.

شکل۴- توان سنج ساخته شده در هنگام اندازه گیری توان و انرژی دستگاه پوست‌کن برنج



شکل ۵- تصویر صفحه گرافیکی مربوط به نرم افزار توان سنج ساخته شده

۳) نتیجه گیری و بحث

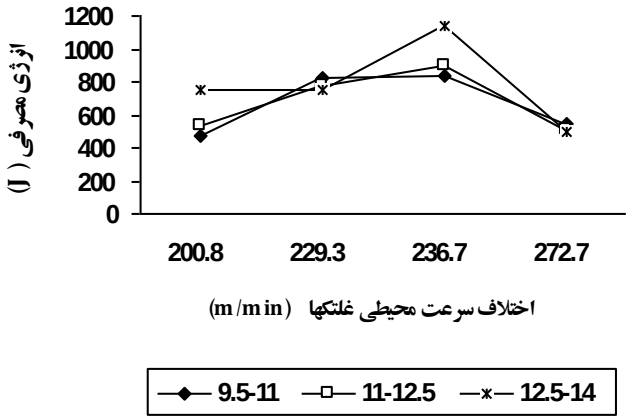
پس از ساخت دستگاه توان سنج، نیاز به بررسی عملکرد آن جهت استفاده بود. برای ارزیابی این دستگاه در اندازه گیری توان یک وسیله برقی تک فاز، از وات متر موجود استفاده شد(جدول۱). این وات متر از نوع آنالوگ بود و قدرت اندازه گیری توان خطوط برق تک فاز و سه فاز را داشت. وسایل الکتریکی مورد استفاده جهت این ارزیابی عبارت بودند از: پنکه برقی ۶۰ وات، لامپ الکتریکی ۱۰۰ وات و موتور الکتریکی ۲۵۰ وات. دستگاههای مورد ارزیابی در حین کار به وات متر آزمایشگاهی و توان سنج ساخته شده متصل شد و در یک زمان توان اندازه گیری شده توسط هر دو مشاهده و یادداشت شد. آزمایشات ارزیابی طی دوروز و هر روز با ۱۰ تکرار در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه صورت گرفت. نتایج این آزمایشات در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از مقایسه عملکرد توان سنج ساخته شده با وات متر آزمایشگاهی(وات)

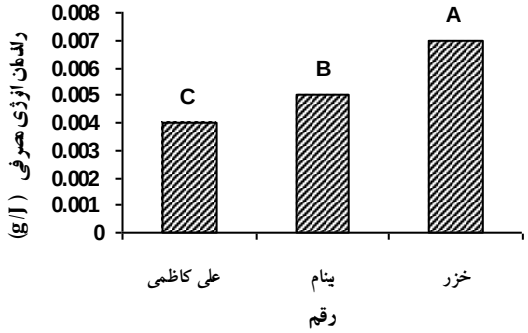
تکرار	روز اول						روز دوم					
	وات متر آزمایشگاهی			توان سنج الکتریکی			وات متر آزمایشگاهی			توان سنج الکتریکی		
	پنکه	لامپ	موتور	پنکه	لامپ	موتور	پنکه	لامپ	موتور	پنکه	لامپ	موتور

۱	۵۴	۸۰	۱۸۴	/۱۵ ۵۳	۷۹/۳	۱۸۳/۲	۵۴	۸۰	۱۷۴	۵۳/۲	۷۹/۲	۱۷۳/۳
۲	۵۴	۸۰	۱۸۴	/۹۵ ۵۲	/۸۵ ۷۸	۱۸۳/۱	۵۶	۷۸	۱۷۰	/۳۶ ۵۵	/۱۴ ۷۷	۱۶۹/۲
۳	۵۶	۷۸	۱۷ ۸	۵۴/۸	۷۶/۹	۱۷۷/۲	۵۴	۷۶	۱۷۸	/۹۳ ۵۲	۷۴/۹	۱۷۶/۸
۴	۵۴	۸۰	۱۷۶	۵۲/۹	۷۹/۱۰	۱۷۴/۸	۵۶	۷۸	۱۷۴	/۱۱ ۵۵	/۲۵ ۷۷	۱۷۳
۵	۵۴	۸۰	۱۷۶	/۲۴ ۵۳	۷۹/۱۰	۱۷۴/۸	۵۶	۷۸	۱۷۰	/۱۵ ۵۵	/۲۵ ۷۷	۱۶۸/۹
۶	۵۴	۸۰	۱۸۰	/۱۵ ۵۳	/۶۵ ۷۸	۱۷۹/۱	۵۴	۷۶	۱۷۴	/۱۷ ۵۲	۷۵/۴	۱۷۳/۵
۷	۵۶	۷۸	۱۸۰	۵۴/۸	/۲۰ ۷۷	۱۷۸/۲	۵۶	۸۰	۱۸۰	۵۵	/۶۲ ۷۸	۱۷۸/۶
۸	۵۴	۸۲	۱۷ ۸	/۱۴ ۵۳	/۲۵ ۸۱	۱۷۷/۲	۵۶	۸۰	۱۸۰	/۹۵ ۵۴	/۹۵ ۷۸	۱۷۶/۸
۹	۵۴	۸۰	۱۷ ۸	/۱۴ ۵۳	/۹۵ ۷۸	۱۷۶/۹	۵۲	۷۶	۱۷۸	۵۳/۲	۷۵/۲	۱۷۷/۲
۱۰	۵۴	۸۰	۱۸۰	/۹۶ ۵۲	/۲۵ ۷۹	۱۷۸/۹	۵۶	۷۸	۱۷۸	۵۵/۲	۷۷/۲	۱۷۷/۲

بررسی نتایج آماری حاصل از ارزیابی دو دستگاه بوسیله آزمون T نشان داد که میانگین توان انـدازه گیری شده بوسیله وات‌متر آزمایشگاهی برای سه وسیله لامپ الکتریکی، پنکه و موتور الکتریکی بـه ترتیب برابر ۷۸/۹، ۵۴/۷ و۱۷۷/۵ وات می‌باشد. نتایج میانگین توان اندازه گیری شده بوسـیله تـوان سنج الکتریکی برای همین سـه وسـیله بـه ترتیـب برابـر ۷۸، ۵۳/۹ و ۱۷۶/۴ وات بـود. بـا تقسـیم میانگین داده‌های حاصل از اندازه گیری بوسیله توان سنج الکتریکی بـر داده‌هـای حاصـل از انـدازه گیری بوسیله وات متر آزمایشگاهی می‌توان دقت وسیله ساخته شده را تعیین کـرد. دقـت بدسـت آمده برای اندازه گیری توان مصرفی لامپ، پنکه و موتـور الکتریکـی توسـط تـوان سـنج الکتریکـی نسبت به وات متر آزمایشگاهی به ترتیب برابر با ۹۸/۸٪، ۹۸/۵٪ و ۹۹/۴٪ بدست آمد. خطای اندازه گیری حدوداً ۲٪ می‌باشد که قابل قبول است. جهت اندازه گیری انرژی و توان مصرفی دستگاههایی که با برق سه فاز کار می‌کنند باید تغییرات اندکی در سیسـتم طراحـی و سـاخت آن داده شـود. همانطور که قبلاً اشاره شد از این دستگاه برای انجام تحقیقی در ارتباط با میزان انرژی مصرفی در فرآیند تبدیل شلتوک برنج استفاده شد. در شکلهای ۶ و ۷ دو مورد از نتایج بدست آمده در این تحقیق بصورت نمودار جهت آگاهی داده شده است.



شکل۶- نمودار اثر متقابل اختلاف سرعت محیطی غلتکهای پوست‌کن و رطوبت شلتوک بر انرژی مصرف شده در فرآیند پوست کنی [۱]



شکل۷- نمودار اثر رقم بر راندمان انرژی مصرفی در فرآیند سفیدکنی برنج قهوه‌ای [۱]

منابع و مراجع:

۱) روحی، غ(۱۳۸۱). بررسی انرژی مصرفی برای پوست‌کنی و سفیدکردن سه رقم شلتوک رایج در استان گیلان. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی.

*2- **Morris, A. S.(1988).** Principle of Measurement and Instrumentation.*

*3- **Gioncoli, C.(1991).** Physics, Principles with Applications. Prentice_Hall International Editions.*