

مقایسه عملکرد دستگاه جوجه‌کشی مجهز به سامانه هیبریدی خورشیدی مبتنی بر کنترلر فازی با نمونه تجاری

مرسوم

ابراهیم احمد ابراهیم حسن^۱، رضا علیمردانی^{۲*}، علی حاجی احمد^۳، حمید عبدالملکی^۴

۱. دانشجو دکتری، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۲. استاد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۳. استادیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۴. دانشجو دکتری، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵)

چکیده

اولین مرحله در پرورش مرغ، تولید جوجه است که با توجه به رشد جمعیت به دستگاه جوجه‌کشی با عملکرد بالا نیاز است. در این پژوهش دو نمونه دستگاه جوجه‌کشی، یکی به سامانه هیبریدی با کنترلر فازی (HIFC) مجهز شد و نمونه دیگر بدون تغییر در ساختار بصورت ON/OFF با هم مقایسه شدند. بر اساس نتایج راندمان جوجه‌آوری در سامانه HIFC ۹۲/۱۳٪ و در سامانه ON/OFF برابر ۷۸/۱۶٪ بود. سامانه HIFC عملکرد بهتری در کنترل یکنواخت شرایط محیطی نسبت به سامانه ON/OFF نشان داد. انرژی مصرفی سامانه HIFC ۳۱/۲۵٪ از سامانه ON/OFF کمتر بود. میزان انرژی خورشیدی دریافت شده برای سامانه HIFC در یک دوره ۲۱ روزه برابر ۲۷/۲۰ kWh بود. در حالی که میزان انرژی مورد نیاز برابر با ۲۴/۲۴ kWh است که ۱۲/۲۱٪ مازاد بر نیاز سامانه HIFC تولید می‌شود. در صورتی که اگر از انرژی هیبریدی در سامانه ON/OFF استفاده شود، فقط ۷۷٪ توان مورد نیاز از این طریق تامین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سامانه هیبریدی، جوجه‌کشی، شرایط محیطی، کنترلر فازی

مقدمه

توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر رشد بسیار سریعی را تجربه می‌کند و انرژی خورشیدی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران قرار گرفته است (Juan C, 2015). تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی دارای کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف است. سلول‌های فتوولتاییک مستقیماً از نور خورشید، برق تولید می‌کند. یک سوم جمعیت جهان (بیش از ۱/۷ میلیارد نفر) دسترسی به برق ندارند و اکثر آن‌ها در مناطق روستایی زندگی می‌کنند (Mousazadeh & Javanbakht, 2007). کشور سودان با قرار گرفتن در منطقه‌ی نزدیک خط استوا جزء مناطقی با بیشترین تابش در جهان با بیش از ۵/۸۵ kWh/m² و حداقل بیش از ده ساعت آفتابی در طول روز می‌باشد (Anon, 2015). در این کشور پهناور فقط ۵۵٪ مناطق شهری به شبکه‌ی سراسری برق دسترسی دارند. این نسبت در شهرهای کوچک و روستاها ۱۳/۸٪ است و به

طور کلی فقط ۲۷/۸٪ مردم سودان به شبکه‌ی سراسری برق دسترسی دارند (Mnahil, 2013). همچنین ایجاد شبکه سراسری برق در کشوری با وسعت ۱۸۸۲۰۰۰ کیلومتر مربع بسیار هزینه‌بر بوده و مدت زمان زیادی صرف ساخت این تأسیسات خواهد شد. به همین دلیل دولت سودان سعی در حل مشکل انرژی روستاها با استفاده از انرژی خورشیدی دارد. در واقع سامانه‌های فتوولتاییک مستقل کوچک تنها راه عملی تأمین برق برای اکثر این افراد است (Mnahil, 2013).

یکی از عناصر اصلی در اقتصاد هر کشور، واحدهای تولیدی گوشت سفید آن کشور است. گوشت سفید یکی از منابع اصلی برای تأمین پروتئین حیوانی است و باعث اشتغال بخش بزرگی از جامعه می‌گردد. مطالعات متعددی در کشورهای عربی نشان می‌دهد که تعداد شاغلین بخش مرغداری‌ها که در کارخانه‌های تولید خوراک، شرکت‌های داروسازی و کشتارگاه‌ها، واردکنندگان و مراکز فروش مشغول به کار هستند، بیش از ۲۰٪ از جمعیت شاغل است (Yaser, 2013).

امروزه با رشد جمعیت نیاز به فرآورده‌های مرغ هم زیادتار شده‌است. بنابراین باید با استفاده از روش‌های جدید این نیاز رو به رشد را برطرف نمود. افزایش تولید مرغ تخم‌گذار یک هدف

* نویسنده مسئول: rmardani@ut.ac.ir

دماهای $37/2^{\circ}\text{C}$ و $38/3^{\circ}\text{C}$ به دست آمد و اغلب تلفات جوجه‌ها داخل تخم، در دماهای $36/1^{\circ}\text{C}$ و $39/4^{\circ}\text{C}$ اتفاق افتاد.

تغییرات دمایی در دستگاه جوجه‌کشی تأثیر بسزایی دارد، مثلاً درجه حرارت مطلوب برای ستر در جوجه‌کشی بوقلمون بین 37°C و 38°C می‌باشد و تغییر درجه حرارت $38/5^{\circ}\text{C}$ تا $37/5^{\circ}\text{C}$ ، درصد جوجه‌گیری را به میزان 60% – 30% کاهش می‌دهد (French, 1994).

Wilson (1990) درجه حرارت مطلوب برای جوجه‌کشی مرغ در مرحله ستر را 37°C تا 38°C پیشنهاد می‌دهد.

Van Brecht *et al.* (2003) گزارش دادند که تغییرات دما تا $0/3^{\circ}\text{C}$ تأثیر منفی در هچ شدن یا جوجه‌گیری ندارد. به همین دلیل سامانه کنترلر دستگاه جوجه‌کشی باید دمای ستر را در محدوده $37/7 \pm 0/3^{\circ}\text{C}$ و دمای هچر را در محدوده $37/2 \pm 0/3^{\circ}\text{C}$ کنترل کند. نتایج تحقیقات آنها در دامنه‌های دمایی مذکور گزارش شده است. (García-Hierro *et al.* (2012) دستگاه جوجه‌کشی تجاری را برای تعیین شیب دمایی و رطوبت نسبی، در طول دو فرآیند کامل جوجه‌کشی پایش کردند. شیب دمای و رطوبتی محیط داخل دستگاه جوجه‌کشی تجاری، که دمای میانگین در دستگاه جوجه‌کشی بین $36/6^{\circ}\text{C}$ و $37/9^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی نیز بین $41/5\%$ و $46/2\%$ تغییر می‌کرد.

فراهم شدن شرایط مطلوب سالن‌های صنعتی پرورش مرغ‌گشتی، مستلزم ثابت بودن عامل‌های دما و رطوبت داخل سالن در حد بهینه و کاهش دامنه تغییرات آن از مقدار بهینه است. یکی از راه‌های تنظیم و تثبیت این عامل‌ها، استفاده از ابزار دقیق و سامانه‌های الکترونیکی با دقت اندازه‌گیری بالا برای کنترل تجهیزات تهویه است (Gholamrezai & Jafari Naeimi, 2016). کنترل پارامترهای دما، رطوبت نسبی و تهویه (غلظت دی اکسید کربن) در محدوده مطلوب نیاز به کنترلر دقیق دارد. انواع مختلفی از روش‌های کنترلی در صنایع گوناگون وجود دارد. کنترل فازی یک روش دقیق کنترل بر اساس منطق فازی است. (Reddy *et al.* (2009) برای کنترل دمای انکوباتور نوزاد، سامانه کنترلر فازی (FLC) را با سامانه کنترلر دو وضعیتی (ON/OFF) مقایسه کرده‌اند که نتایج به دست آمده برتری سامانه کنترلر فازی را اثبات کرده است.

یک سامانه هوشمند مبتنی بر منطق فازی برای کنترل دقیق پارامترهای محیطی گلخانه توسط (Javadikia (2010 طراحی و پیاده‌سازی نمود و عملکرد آن را با سامانه‌های کنترل سنتی مقایسه کرد و برتری کنترلر فازی را گزارش داد. با توجه به شرایط محیطی و نیاز کشور سودان، طراحی،

مهم در کمک به رفع نیازهای تغذیه‌ای در مقابله با رشد جمعیت در کشورهای در حال توسعه است. بالا بردن تولید مرغ تخم‌گذار آسان است و به طور کلی در مقایسه با سایر دام‌ها واحدهای تولیدی این محصول را می‌توان سریع و به راحتی گسترش داد. علاوه بر این، سازگاری مرغ تخم‌گذار با شرایط آب و هوایی مختلف خوب است. می‌توان اغلب طیور را با انواع دیگر کشاورزی‌ها ترکیب کرده و امکان بالا بردن درآمد برای کشاورزان را فراهم نمود (Anon, 2010). تولید گوشت مرغ و تخم‌مرغ در سودان در حال افزایش است. تقریباً 90% تولید گوشت سفید سودان در استان خارطوم پرورش می‌یابد (Mohamed, 2014).

با توجه به نیاز این کشور به افزایش رشد اقتصادی و پتانسیل بالای بخش مرغداری و جوجه‌کشی، بازرگانان زیادی از نقاط مختلف جهان اقدام به سرمایه‌گذاری و ارائه راهکار به کشور سودان کرده‌اند (Yaser, 2013). اولین مرحله در پرورش مرغ، تولید جوجه است که برای این امر نیاز به دستگاه جوجه‌کشی با عملکرد بالا می‌باشد. جوجه‌کشی عبارت است از تأمین شرایط لازم برای رشد جنین داخل تخم‌مرغ نطفه‌دار که با تأمین شرایط، جنین رشد نموده و بعد از طی مدت لازم (در مورد مرغ حدود ۲۱ روز)، جوجه کامل قادر به خروج از تخم‌مرغ باشد. شرایط لازم برای رشد جنین شامل حرارت، رطوبت نسبی، رساندن اکسیژن کافی برای تنفس جنین داخل تخم (تهویه) و چرخش تخم‌مرغ‌ها می‌باشد (Kalantar & Salari, 2012).

تکمیل جوجه در تخم‌مرغ شامل دو مرحله ستر^۱ و هچر^۲ انجام می‌شود. طبق تحقیقات به عمل آمده، در مرحله ستر (۱۸ روز اول جوجه‌کشی در تخم مرغ) درجه حرارت مطلوب برای تخم‌مرغ در محدوده $37/5^{\circ}\text{C}$ – $37/7^{\circ}\text{C}$ درجه متغیر می‌باشد، اگر درجه حرارت بیش از $1/2^{\circ}\text{C}$ از $37/7^{\circ}\text{C}$ منحرف شود، احتمال جوجه‌آوری بسیار کم می‌شود. رطوبت نسبی مطلوب نیز در مرحله ستر بین 60% – 55% می‌باشد، اگر درصد رطوبت نسبی اختلاف قابل ملاحظه‌ای با مقادیر فوق داشته باشد، جوجه‌آوری رخ نخواهد داد (Archer & Cartwright, 2012).

Yildirim & Yetisir (2004) چهار مجموعه تخم‌مرغ را به صورت تصادفی در ۵ روز پایانی رشد در چهار دستگاه جوجه‌کشی (هچر) گذاشتند. درجه حرارت داخل دستگاه‌ها در مقادیر $36/1$ ، $37/2$ ، $38/3$ و $39/4$ درجه سلسیوس تنظیم شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین درصد جوجه‌گیری در

می ماند (Mashhadi & Dashtaki, 2012; Özçelik *et al.*, 2009)، این حالت‌ها در روز به صورت مرتب تکرار می‌شوند.



شکل ۱. دستگاه جوجه‌کشی تجاری

برای کنترل پارامترهای محیطی دستگاه جوجه‌کشی از حسگرهای مربوطه استفاده شده است. در دستگاه تجاری از دو حسگر دما و رطوبت که بر اساس فتیله تر و خشک کار می‌کند استفاده شده است. در حالی که در سامانه HIFC از ۱۲ حسگر (۶ عدد حسگرهای اندازه‌گیری دما، ۳ عدد حسگر اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی، غلظت CO_2 و حسگر اندازه‌گیری جریان می‌باشد) حسگرهای دما استفاده شده در این تحقیق سه نوع هستند که، سه حسگر دما LM35، سه حسگر دما DALAS و سه حسگر SHT75 دما و رطوبت (بیرون، وسط و بالای دستگاه، دارای خروجی دیجیتال و انرژی مصرفی کم می‌باشند. این حسگر دارای قابلیت اطمینان و ثبات در دراز مدت می‌باشد) استفاده شده است. به منظور ثبت اطلاعات بیشتر و پایش دمای سه بخش دستگاه جوجه‌کشی و نیز سوئیچ کردن المنت حرارت، مه پاش، پنکه تهویه و پنکه گردش هوا از هشت حسگر استفاده شد، که سه تا از این حسگرها نزدیک سقف دستگاه جوجه‌کشی و سه تا از این حسگرها در وسط بدنه دستگاه جوجه‌کشی و دوتای دیگر در نزدیک کف دستگاه جوجه‌کشی نصب شدند. دمای میانگین دستگاه جوجه‌کشی مقادیر قرائت شده به وسیله این هشت حسگر می‌باشد و با استفاده از اطلاعات این حسگرها و پنکه گردش هوا شرایط یکنواختی از دما در محیط دستگاه جوجه‌کشی فراهم می‌شود.

پیاده‌سازی و ارزیابی دستگاه جوجه‌کشی هیبریدی برقی- خورشیدی مجهز به سامانه کنترل فازی با توجه به محدودیت شبکه برق و مشکلات ناشی از تامین سوخت فسیلی مثل مشتقات نفتی در سودان می‌تواند کمک شایانی به تامین گوشت مرغ، اشتغال و افزایش درآمد مردم این کشور و بهبود شرایط زیست محیطی داشته باشد.

هدف از این تحقیق مقایسه عملکرد دو دستگاه جوجه-کشی هیبریدی (برقی- خورشیدی) مجهز به سامانه کنترل فازی و دستگاه تجاری با کنترل ON/OFF از لحاظ توانایی در ایجاد شرایط مطلوب برای تخم‌مرغ با معیارهای درصد جوجه‌گیری، تغییرات وزنی تخم‌مرغ، زمان جوجه درآمدن، غلظت دی اکسید کربن و میزان مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق دو نمونه دستگاه جوجه‌کشی یکسان تهیه شد. یک نمونه به سامانه هیبریدی- کنترلر فازی مجهز شده ($HIFC^1$) و نمونه دیگر بدون تغییر در ساختار کنترلی ON/OFF مقایسه شدند. اجزاء تشکیل دهنده دستگاه جوجه‌کشی و تفاوت بین این دو دستگاه در ادامه آورده شده است.

ساختار دستگاه جوجه‌کشی در شکل (۱) دستگاه جوجه‌کشی تجاری نشان داده شده است، بدنه از سه لایه تشکیل شده است. ابعاد دستگاه $1/15m \times 0/48m \times 0/56m$ است، حجم دستگاه $0/31m^3$ و ظرفیت آن ۲۱۰ عدد تخم‌مرغ است. اجزاء اصلی هر دستگاه جوجه‌کشی مورد مورد مطالعه عبارتند از: عملگرها، حسگرها، کنترلر و سامانه هیبریدی می‌باشد که تفاوت این دو دستگاه در سامانه هیبریدی، رطوبت ساز (دستگاه توسعه داده شده با مه‌پاش التراسونیک کار می‌کند در حالی که دستگاه تجاری با بخار ساز مکانیکی کار می‌کند) و سامانه کنترلر.

عملگرهای دستگاه جوجه‌کشی عبارتند از: المان حرارتی (هیتر)، رطوبت ساز، پنکه گردش هوا (دمنده)، پنکه تهویه (مکنده) و مکانیزم چرخش تخم‌مرغ که تأثیر بسیار زیادی در بهبود عملکرد دستگاه جوجه‌کشی دارد و شانه تخم‌مرغ‌ها برای مدت زمان معین (هر یک ساعت) 45° به راست متمایل شده و در همین حالت می‌ماند و بعد از مدت زمان معین (هر یک ساعت) $45^\circ C$ به سمت چپ متمایل می‌شوند و در همین حالت

در نهایت داده حسگرها توسط ماژول‌های مربوطه به مدار اصلی سامانه منتقل شده و مدار اصلی (آردوینو^۱) بعد از تصمیم‌گیری‌های لازم، اطلاعات مربوط به عملگرها از مدار اصلی به رله‌های مربوط به عملگرها منتقل می‌شود، در حقیقت مدار اصلی آردوینو وظیفه دریافت و تحلیل داده‌های حسگرها و تصمیم‌گیری و عمل کنترل کردن را به عهده دارد. میکروکنترلر آردوینو هسته مرکزی دستگاه کنترلر است که بر پایه‌ی ATmega2650 تشکیل شده است. برای برنامه‌نویسی در میکروکنترلر از محیط نرم‌افزاری یک پارچه (IDE)^۲ همراه با امکانات لازم استفاده می‌شود. آردوینوی استفاده شده دارای ۵۴ پایه ورودی و خروجی دیجیتال، ۱۶ ورودی آنالوگ، چهار پورت سریال سخت افزاری، یک نوسان‌ساز کریستال ۱۶ مگاهرتزی، رابط USB^۳، یک منبع تغذیه و یک پین هدر ICSP^۴ است. آردوینو دارای قابلیت ارتباط با کامپیوتر توسط کابل USB است. در شکل (۳) شماتیکی از سامانه توسعه داده شده دستگاه جوجه‌کشی هیبریدی و اجزاء نشان داده شده است.

کلیه مراحل این تحقیق در کشور ایران انجام شده است ولی دستگاه جوجه‌کشی هیبریدی به منظور توسعه صنعت جوجه‌کشی در کشور سودان طراحی شده است. سامانه هیبریدی متناسب با شرایط آب و هوایی کشور سودان طراحی و ساخته شد. این سامانه باید نیازهای انرژی برای تامین دمای مناسب، رطوبت، تهویه، چرخش و سامانه کنترلی دستگاه جوجه‌کشی را تأمین نماید. همچنین برای استفاده از برق شبکه نیز امکانات لازم فراهم شد. اجزاء مهم سامانه هیبرید شامل چهار عدد پنل فتوولتاییک ۷۰ وات، شارژ کنترلر (MPPT^۵) 30A 12/24/48V Western، چهار عدد باتری ۱۲ ولتی ۴۲ آمپر ساعت deep cycle، اینورتر (Inverters ST ۱۰۰۰W Pure Sine Wave) و حسگر باتری (SPC20.S) برای اندازه‌گیری دما، ولتاژ، انرژی باتری و شارژ کنترلر است. این اجزاء در شکل (۴) نشان داده شده است.

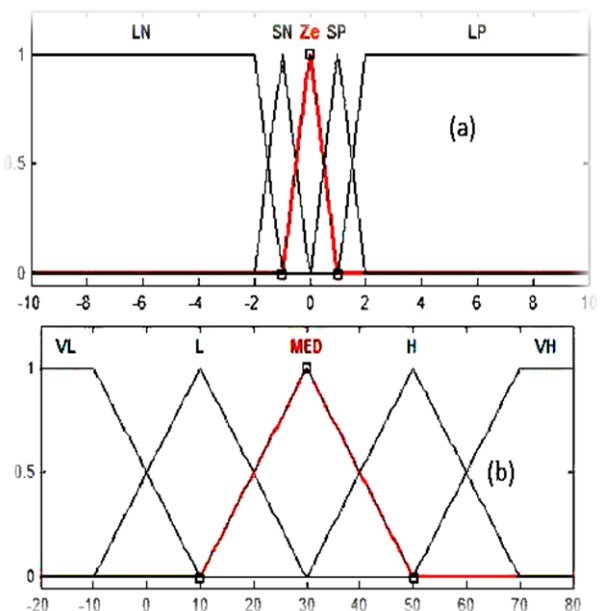
روند آزمایش

در این طرح دو دستگاه جوجه‌کشی با ابعاد کاملاً یکسان در کنار هم در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شده است، یکی مجهز به سامانه کنترلی ساخته شده فازی FLC و دیگری صنعتی مجهز به سامانه کنترلر

کنترل کننده‌ی فازی با استفاده از منطق فازی، منطق بشری را پیاده کرده است که با توابع عضویت، قوانین فازی و قوانین عضویت برنامه ریزی شده است. در این پژوهش با توجه به نوع ورودی کنترلرهای فازی از سه نوع فازی ساز مثلثی شکل، S شکل و Z شکل استفاده شد. با توجه به اهمیت تعداد توابع عضویت فازی ساز و قوانین فازی و قابلیت اجرا شدن کنترلر فازی برای هر ورودی پنج تابع عضویت استفاده شده است. شکل (۲) فازی ساز استفاده شده برای یک نمونه ورودی و خروجی کنترلر دما و رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. پایگاه قواعد فازی مجموعه‌ای از قواعد اگر - آنگاه فازی است که در حقیقت بین ضریب تابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌ها و در نتیجه بین پارامترهای ورودی و مقادیر خروجی ارتباط برقرار می‌کند. تعداد قوانین کنترلر دما - رطوبت و کنترلر CO₂ به ترتیب ۲۵ و ۵ قانون است. پایگاه قواعد فازی مربوط به دو کنترلر طراحی شده از چند قانون کلی تبعیت می‌نماید، سه قانون مهم بعنوان نمونه در زیر آورده شده است.

اگر دمای داخلی دستگاه جوجه‌کشی زیاد است، عملگر کم کردن دما متناسب با زیادی دما فعال می‌شود.
اگر رطوبت داخلی دستگاه جوجه‌کشی زیاد است، عملگر کم کردن رطوبت متناسب با زیادی رطوبت فعال می‌شود.
اگر CO₂ داخل دستگاه جوجه‌کشی زیاد باشد، عملگر کم کردن CO₂ متناسب با زیادی CO₂ فعال می‌شود.

خروجی هر کنترلر فازی در حقیقت عملگرهایی هستند که بر روی پارامترهای کنترلی هر کنترلر فازی اثر می‌گذارند.

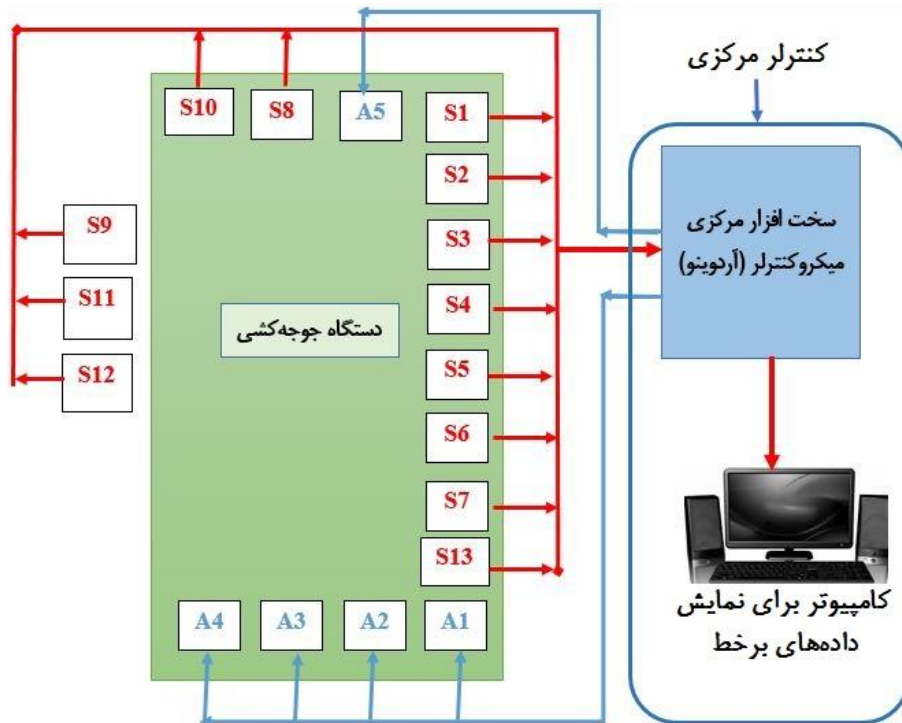


شکل ۲. (a) کنترلرهای فازی برای ورودی، (b) کنترلرهای فازی برای خروجی.

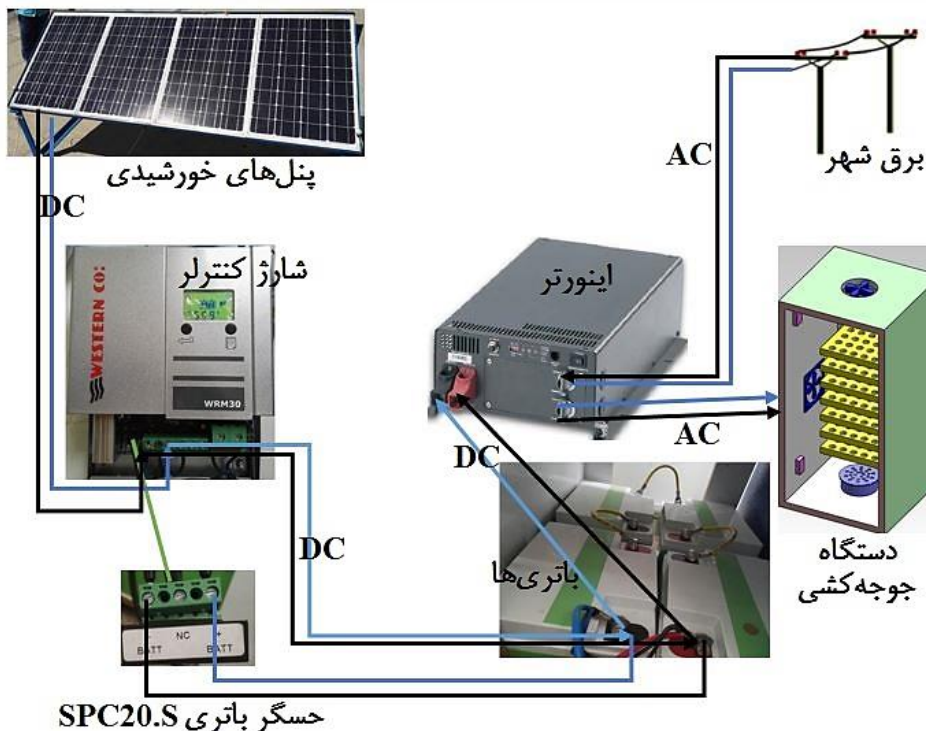
1. ARDUINO
2. Integrated development environment
3. Universal serial bus
4. In-Circuit Serial Programming
5. Maximum Power Point Tracer charge controller

شرکت مرغ مادر فدک واقع در استان البرز، حومه کرج تهیه و در دستگاه‌ها قرار داده شد. ۱۰۰ عدد در داخل دستگاه HIFC و ۱۰۰ عدد در دستگاه ON/OFF نمونه‌گذاری شد. در شکل (۵) دستگاه HIFC توسعه یافته نشان داده شده است.

ON/OFF مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌ها در شرایط آب و هوای یکسان انجام شدند، لذا درون دستگاه‌ها نمونه‌های تخم‌مرغ از مرغ مادر نژاد راس ۳۰۸، ۴۸ هفتگی با درصد هچ ۸۵٪، ۲۰۰ عدد تخم‌مرغ و در تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۱۵ میلادی از



شکل ۳. بلوک دیاگرام کلی سامانه کنترل فازی- A1: المنت حرارتی، A2: موتور حرکت طبقه‌ها، A3: مه پاش، A4: پنکه گردش هوا (دمنده) و A5: پنکه تهویه (مکنده)، (S1- S4 - S7) حسگرهای تشخیص دما LM35، (S2- S5 - S8) حسگرهای تشخیص دما DALAS، (S3- S6 -S9) حسگرهای تشخیص دما و رطوبت SHT75، (S10- S11) حسگر تشخیص غلظت دی اکسید مریب و (S12) حسگر اندازه جریان.



شکل ۴. سامانه هیبریدی دستگاه جوجه‌کشی توسعه داده شده.



شکل ۵. دستگاه جوجه‌کشی توسعه یافته HIFC.

مقدار وزنی تخم‌مرغ‌ها در سامانه HIFC، از روز اول تا روز ۱۸ام نشان داده شده است. در این جدول تغییرات وزن تخم‌مرغ‌ها به تغییرات پارامترهای دما و رطوبت بستگی دارد. تغییرات وزن در شانه‌های بالا و پایینی ارائه شده است. میانگین تغییر وزن تخم‌مرغ ۱۸ روزه در شانه بالا برابر با $10/73\%$ و در شانه پایینی برابر با $10/78\%$ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد سامانه HIFC، یکنواختی دما و رطوبت نسبی دستگاه جوجه‌کشی را در لایه های مختلف دستگاه خوب نگهداشته است. یکنواختی پارامتر دما و رطوبت نسبی در سامانه HIFC از لحاظ تغییرات وزنی تخم‌مرغ‌ها در دوره جوجه‌کشی در شانه بالایی و پایینی در شکل (۶) و شکل (۷) نشان داده شده است.

جدول (۱) هم تغییرات وزن تخم‌مرغ‌ها را در دوره جوجه‌کشی در دستگاه تجاری با کنترلر ON/OFF نشان می‌دهد. میانگین تغییرات وزن تخم‌مرغ ۱۸ روزه در شانه بالا برابر با $12/82\%$ و میانگین اختلاف وزنی بین تخم‌مرغ‌های روز اول و ۱۸ روزه در شانه پایینی برابر با $10/80\%$ می‌باشد. تفاوت میانگین اختلاف وزن تخم‌مرغ‌های روز اول با وزن آن‌ها در روز ۱۸ام بین تخم‌مرغ‌های شانه بالا و شانه پایینی مشخص شده است. این پدیده ناشی از عدم ایجاد یکنواختی پارامتر دما و رطوبت در کنترلر ON/OFF است. نتایج مشابهی توسط Kalantar & Salari (2012) گزارش شده است. عدم یکنواختی پارامتر دما و رطوبت نسبی در شانه بالایی و پایینی دستگاه جوجه‌کشی مبتنی بر سامانه کنترلر ON/OFF از لحاظ تغییرات وزنی تخم‌مرغ‌ها در شکل (۸) و شکل (۹) نشان داده شده است.

آزمون آزمایشگاهی

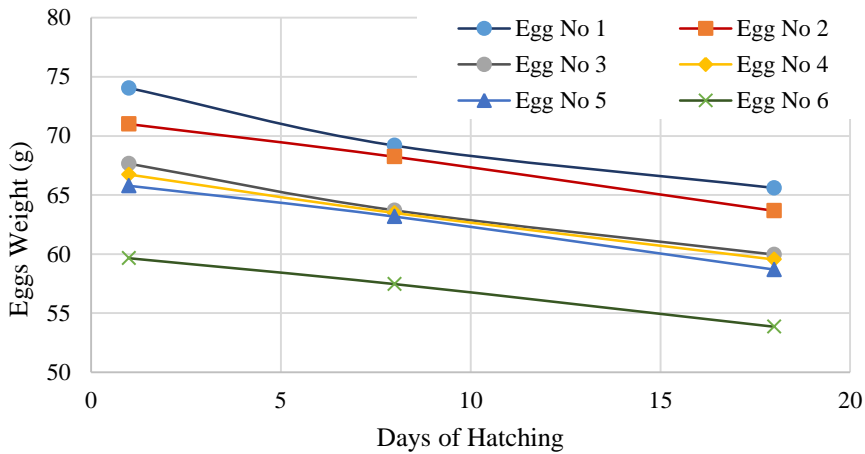
برای مقایسه سامانه HIFC و سامانه ON/OFF، ارزیابی یکنواختی دو متغیر مهم دما و رطوبت نسبی دستگاه جوجه‌کشی بر اثر تغییرات وزن تخم‌مرغ و بررسی اثر توزیع دما و رطوبت (یکنواختی) بر زمان در آمدن جوجه از تخم‌مرغ انجام شد. همچنین مقادیر میانگین، نقطه‌های بیشینه و کمینه غلظت CO_2 و میانگین توان مصرفی در دستگاه جوجه‌کشی توسط هر دو سامانه کنترلی مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

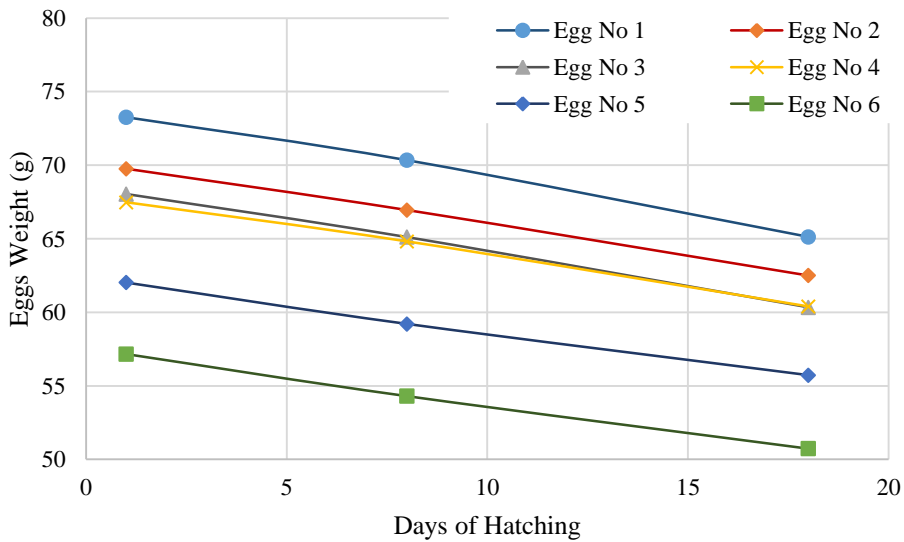
بعد از قرار دادن تخم‌مرغ‌ها و راه‌اندازی دستگاه‌ها، متغیرهای مورد ارزیابی در دو سامانه HIFC و ON/OFF شامل دما، درصد رطوبت نسبی، غلظت CO_2 ، انرژی مصرفی دستگاه جوجه‌کشی و اثر یکنواختی پارامترهای کنترلی بررسی شدند. همچنین تاثیر دما، درصد رطوبت نسبی در تغییرات وزن تخم‌مرغ‌ها، زمان در آمدن جوجه‌ها و درصد تبدیل تخم‌مرغ به جوجه مورد بررسی قرار گرفتند.

ارزیابی یکنواختی بر اثر تغییرات وزن تخم‌مرغ

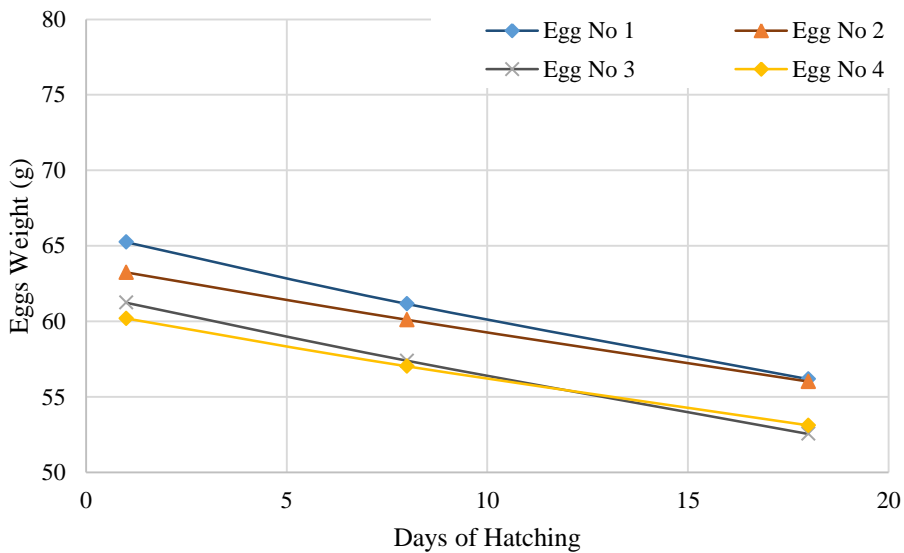
اگر تخم‌مرغ‌ها به طور صحیح و مناسب جوجه‌کشی شوند، از روز اول دوره جوجه‌کشی تا روز ۱۸ام، در حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از وزن خود را از دست خواهند داد. این مقدار معادل ۶ تا ۸ گرم از وزن تخم‌مرغ است که در دوره جوجه‌کشی کم می‌شود. تغییرات وزن برای ۶ نمونه تخم‌مرغ از هر سینی بالایی و پایینی در دو دستگاه، در روز اول، هشتم و ۱۸ام توزین شد. در جدول (۱)،



شکل ۶. تغییرات وزن تخم مرغ (یک، هشت و ۱۸ روزه) در سامانه HIFC، شانه بالایی.



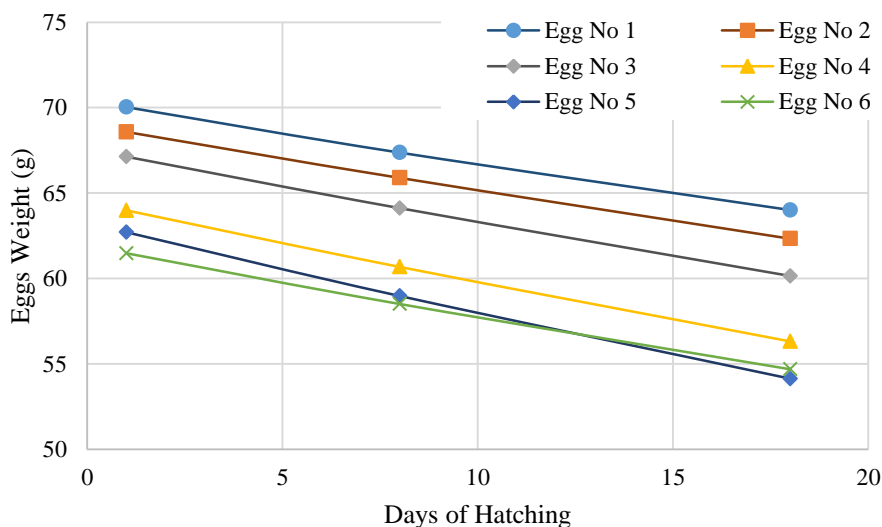
شکل ۷. تغییرات وزن تخم مرغ (یک، هشت و ۱۸ روزه) در سامانه HIFC، شانه پایینی.



شکل ۸. تغییرات وزن تخم مرغ (یک، هشت و ۱۸ روزه) در سامانه ON/OFF، شانه بالایی.

جدول ۱. تغییرات وزن تخم مرغ در دوره جوجه کشی در دو سامانه HIFC و ON/OFF

طبقه‌ها	شماره نمونه تخم مرغ‌ها	درصد کاهش وزن HIFC (%)	درصد کاهش وزن ON/OFF (%)
سینی بالایی	۱	۱۱/۱۴	۱۳/۹۰
	۲	۱۰/۳۳	۱۱/۴۳
	۳	۱۱/۳۶	۱۴/۱۹
	۴	۱۰/۷۷	۱۱/۷۶
	۵	۱۰/۷۸	-
	۶	۹/۷۲	-
	میانگین	۱۰/۷۳	۱۲/۸۲
سینی پایینی	۱	۱۱/۰۹	۸/۵۹
	۲	۱۰/۴۰	۹/۱۱
	۳	۱۱/۳۱	۱۰/۳۹
	۴	۱۰/۴۹	۱۱/۹۸
	۵	۱۰/۱۴	۱۳/۶۶
	۶	۱۱/۲۴	۱۱/۰۴
	میانگین	۱۰/۷۸	۱۰/۸۰



شکل ۹. تغییرات وزن تخم مرغ (یک، هشت و ۱۸ روزه) در سامانه ON/OFF، شانه پایینی.

تخم مرغ خیلی مهم است، اگر جوجه زودتر از روز بیست و یکم یا دیرتر از تخم بیرون بیاید، به این معنی است که کنترل شرایط محیطی در دستگاه جوجه کشی به درستی انجام نشده است (Kalantar & Salari, 2012).

در جدول (۲)، نتیجه جوجه‌آوری سامانه HIFC با نمونه تجاری ON/OFF مقایسه شده است. در سامانه HIFC، ۲۰٪ جوجه‌ها در روز بیستم و ۸۰٪ جوجه‌ها در روز بیست و یکم از تخم مرغ در آمدند. یکنواختی در آمدن جوجه‌ها در روز بیست و یکم هم در شانه‌های مختلف مشاهده شده که از ۸۰٪ جوجه‌های به دنیا آمده، ۳۱٪ از شانه بالایی، ۳۱٪ از شانه وسطی و

ارزیابی یکنواختی بر اثر زمان در آمدن تخم مرغ تحقیقات نشان می‌دهد مراحل رشد ساختمانی و تشکیل اندام‌های جنینی طی مراحل اولیه دوره جوجه‌کشی انجام می‌شود. این مراحل به طور مثال در بهترین شرایط، روز نوزدهم ورود کیسه زرده به داخل حفره بدنی، جوجه در وضعیتی قرار می‌گیرد که بتواند به پوسته ضربه بزند. روز بیستم ورود کامل کیسه زرده به داخل حفره بدن، بسته شدن ناف، جوجه با منقار خود غشای داخلی پوسته را سوراخ کرده و وارد اتاقک هوایی می‌شود و دستگاه تنفس شروع به فعالیت می‌کند و روز بیست و یکم جوجه از تخم خارج می‌شود. زمان در آمدن جوجه از

وسطی بوده‌اند، درحالی که هیچکدام از شانه پایینی در نیامدند. از ۳۶/۷۶٪ روز بیست و یکم، ۱۲٪، ۶۴٪ و ۲۴٪ به ترتیب از شانه‌های بالا، وسطی و پایینی در آمدند. در نهایت، از ۲۲/۰۷٪ روز بیست و دوم ۲۰٪ از شانه وسطی و ۸۰٪ از شانه پایینی بودند. عدم یکنواختی در آمدن جوجه‌ها چه از نظر زمان به دنیا آمدن و چه در نقاط مختلف دستگاه جوجه‌کشی صنعتی کاملاً واضح است.

۳۸٪ از شانه پایینی می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که دستگاه HIFC شرایط محیطی را به خوبی کنترل کرده و از اصول جوجه‌کشی پیروی کرده است. در مقابل، آمار جوجه‌آوری دستگاه تجاری ON/OFF نیز در جدول (۲) نشان داده شده است که ۴۱/۱۷٪ از جوجه‌ها در روز بیستم در آمدند، ۳۶/۷۶٪ روز بیست و یکم و ۲۲/۰۷٪ در روز بیست و دوم در آمدند. از ۴۱/۱۷٪ روز بیستم ۷۸/۵۷٪ در شانه بالا و ۲۱/۴۳٪ در شانه

جدول ۲. مقایسه عملکرد زمان جوجه‌آوری شانه‌های مختلف دستگاه توسعه یافته HIFC و نمونه تجاری ON/OFF.

تعداد جوجه‌های درآمده از نمونه تخم‌مرغ‌ها		طبقه‌ها	زمان در آمدن جوجه‌ها
ON/OFF	HIFC		
۲۲	۴	سینی بالا	روز بیستم
۶	۷	سینی وسط	
۰	۵	سینی پایین	
۳	۲۰	سینی بالا	روز بیست و یکم
۱۶	۲۰	سینی وسط	
۶	۲۴	سینی پایین	
-	-	سینی بالا	روز بیست و دوم
۳	-	سینی وسط	
۱۲	-	سینی پایین	

بر اساس جدول (۳)، میانگین غلظت CO₂ در سامانه HIFC برابر با ۲۲۳۶ppm در حالی که این مقدار برای سامانه ON/OFF برابر با ۱۸۴۹ppm می‌باشد. به عبارت دیگر در سامانه ON/OFF میزان غلظت CO₂ در دستگاه جوجه‌کشی کمتر است (البته میزان غلظت CO₂ که در سامانه HIFC به دست آمده از میزان بحرانی بسیار کمتر است). این اتفاق به این دلیل این است که مقادیر بیشینه و کمینه خطا در پارامترهای دما و رطوبت نسبی در سامانه ON/OFF بیشتر از سامانه HIFC بوده است، لذا مدت زمان بیشتری به منظور کاهش دما و رطوبت نسبی فرآیند تهویه فعال می‌شود و با انجام فرآیند تهویه غلظت CO₂ نیز کاهش پیدا می‌کند. اما در حالت کنترل FLC به خاطر پایین بودن مقادیر ذکر شده، فرآیند تهویه کمتر صورت می‌گیرد و لذا غلظت CO₂ افزایش یافته است. نتایج مشابه در زمینه کاهش غلظت دی اکسید کربن با استفاده از کنترلر ON/OFF، در تحقیق (2010) Javadikia و (2015) Mirzaee-Ghaleh *et al.* گزارش شده است.

انرژی مصرفی دستگاه جوجه‌کشی در فصل پاییز

انرژی مصرفی دستگاه جوجه‌کشی در مرحله ستر برای دستگاه HIFC و ON/OFF با استفاده از حسگر جریان اندازه‌گیری شد.

نتایج مشابهی در تحقیق (2012) Kalantar & Salari و (1994) French اثر عدم یکنواختی درجه حرارت در دستگاه جوجه‌کشی در دوران جوجه‌کشی مخصوصاً فراجش درجه حرارت و تأثیر آن حتی در کیفیت جوجه‌ای که درمی‌آید، گزارش شده است

دی اکسید کربن

غلظت CO₂ تأثیر بسزایی در بازدهی دستگاه جوجه‌کشی دارد. اگر میزان CO₂ به ۱٪ برسد، میزان تولید جوجه‌دهی به صفر می‌رسد، میزان بحرانی CO₂ در دستگاه جوجه‌کشی ۰/۵٪ است. به همین دلیل یک سامانه کنترلی جوجه‌کشی خوب باید بتواند غلظت CO₂ را در محدوده کمتر از ۰/۵٪ (۵۰۰۰ppm) نگه دارد. وضعیت غلظت CO₂ در سامانه کنترلی FLC و ON/OFF در جدول ۳ و شکل (۱۰) آورده شده است.

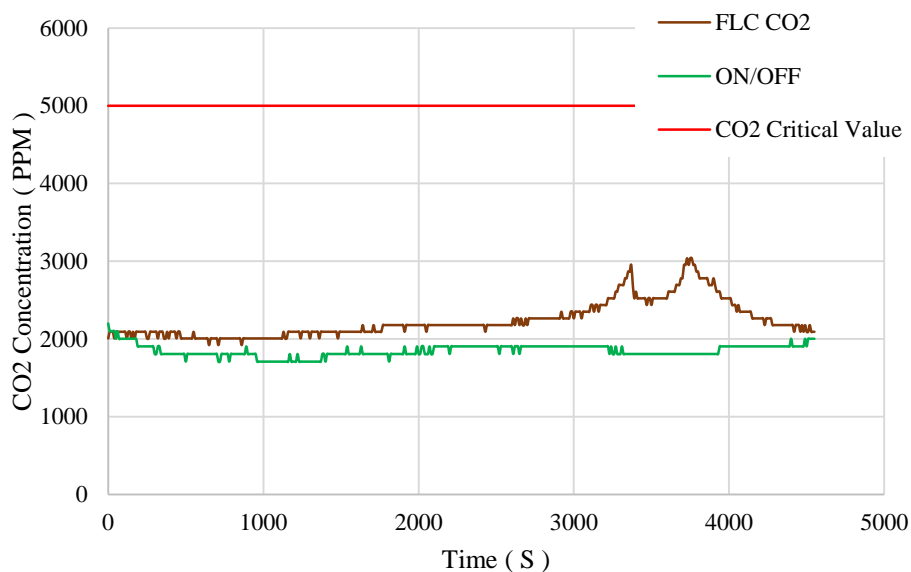
جدول ۳. غلظت CO₂ در دو دستگاه جوجه‌کشی مورد آزمایش در مرحله

ستر.

سامانه‌های کنترلی		متغیرها
FLC	ON/OFF	
۳۰۳۸	۲۱۹۸	نقطه بیشینه غلظت CO ₂ (ppm)
۱۹۲۰	۱۷۰۸	نقطه کمینه غلظت CO ₂ (ppm)
۲۲۳۶	۱۸۴۹	میانگین غلظت CO ₂ (ppm)

انرژی مصرفی در مرحله ستر ۱۸ روز اول دوره جوجه‌کشی محاسبه شد که در سامانه HIFC برابر با ۲۰/۹۱ kWh و در سامانه ON/OFF برابر با ۳۰/۴۱ kWh می‌باشد. انرژی مصرفی سامانه HIFC ۳۱/۲۵٪ از سامانه کنترلی ON/OFF کمتر است. میانگین انرژی مصرفی در طول دوره ۲۱ روز برای سامانه HIFC و سامانه ON/OFF به ترتیب برابر با ۲۴/۲۴ kWh و ۳۵/۲۳ kWh می‌باشد.

تغییرات جریان مصرفی در شکل (۱۱) مقایسه و مشخص شده است. بر اساس جدول (۴)، مقدار جریان بیشینه در سامانه HIFC برابر با ۱/۲۴ A و در سامانه ON/OFF برابر با ۱/۵۴ A است که بیشترین جریان مصرفی است. میانگین جریان در سامانه HIFC برابر با ۰/۲۲ A و در سامانه ON/OFF برابر با ۰/۳۲ A است. میانگین انرژی مصرفی دستگاه جوجه‌کشی در یک ساعت برای سامانه‌های HIFC برابر با ۴۸/۴۰ Wh و ON/OFF برابر با ۷۰/۴۰ Wh به دست آمده است. میانگین



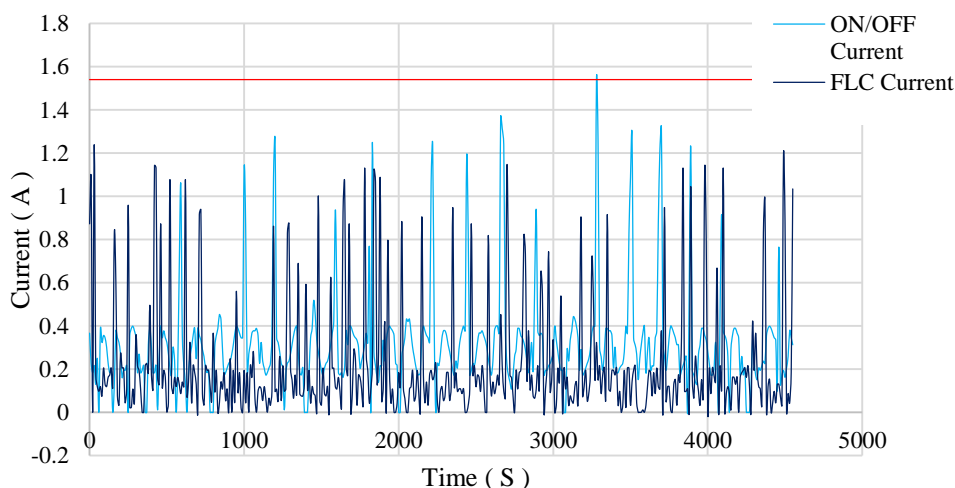
شکل ۱۰. تغییرات غلظت CO₂ در مرحله ستر برای دو دستگاه جوجه‌کشی با سامانه HIFC و ON/OFF.

جدول ۴. جریان و توان سامانه HIFC و سامانه ON/OFF در فصل پاییز.

سامانه‌های کنترلی		متغیرها
FLC	ON/OFF	
۱/۲۴	۱/۵۴	نقطه بیشینه جریان (A)
۰/۲۲	۰/۳۲	میانگین جریان در ساعت (A)
۴۸/۴۰	۷۰/۴۰	میانگین انرژی مصرفی در ساعت (Wh)
۲۰/۹۱	۳۰/۴۱	میانگین انرژی مصرفی در ۱۸ روز ستر (kWh)
۳/۳۳	۴/۹۱	میانگین انرژی مصرفی در سه روز آخر هرچر (kWh)
۲۴/۲۴	۳۵/۲۳	میانگین انرژی مصرفی در طول دوره ۲۱ روز (kWh)
۲۷/۲۰	-	انرژی تولید شده از سامانه فتوولتاییک (kWh) در ۲۱ روز
۱۱۲/۲۱	-	انرژی تأمین شده از سامانه هیبریدی ساخته شده (٪)

در مقایسه با سامانه ON/OFF در میزان انرژی مصرفی مشخص می‌شود. نتایج مشابهی در زمینه کاهش مصرف انرژی به کمک سامانه کنترل فازی توسط (Javadikia (2010)، (Mirzaee- (2015) و Ghaleh *et al.* (2017) و Saedi گزارش شده است.

با استفاده از امکانات شارژ کنترلر MPPT می‌توان کل انرژی دریافتی از پنل فتوولتاییک در هر دوره زمانی را ثبت نمود که در دوره جوجه‌کشی ۲۱ روزه کل انرژی دریافتی از پنل فتوولتاییک ثبت و برابر با ۲۷/۲۰ kWh می‌باشد. در نهایت، برتری سامانه HIFC



شکل ۱۱. مقایسه تغییرات جریان دستگاه جوجه کشی در در دستگاه هیبریدی-فازی و دستگاه تجاری ON/OFF. فصل پاییز.

میزان انرژی دریافتی از سامانه هیبریدی خورشیدی نصب شده روی HIFC در یک دوره ۲۱ روزه که برابر با ۲۷/۲۰ kWh بوده است، این سامانه درصد مشارکت توان از پنل خورشیدی در سامانه ON/OFF برابر با ۰.۷۷٪ و در سامانه HIFC اضافه تولید انرژی مورد نیاز از سامانه هیبریدی ۱۲/۲۱٪ می‌باشد. به عبارت بهتر در سامانه HIFC می‌توان فقط از سامانه هیبریدی پنل فتوولتاییک بدون نیاز به برق شهری استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

با استقرار ۱۰۰ عدد تخم مرغ در هر یک از سامانه های HIFC و ON/OFF مشخص شد که از ۸۹ تخم بارور ۸۰ جوجه از سامانه HIFC در آمده و در صورتی که از ۸۷ تخم بارور ۶۸ جوجه از سامانه ON/OFF حاصل شد. لذا راندمان تبدیل تخم مرغ به جوجه در سامانه HIFC ۹۲/۱۳٪ و در سامانه ON/OFF ۷۸/۱۶٪ بوده است. سامانه HIFC مقادیر دما و رطوبت نسبی را با دقت بالاتری کنترل می‌کند. با توجه به

REFERENCES

- Anon, (2010) The Statistical Reference for Poultry Executives. Watt Executive Guide to World Poultry Trends 2010. www.WATTAgNet.com
- Anon, (2015) Sudan Energy Research Center – Department of Solar Energy.
- Archer, G. S. & Cartwright, A. L. (2012) Incubating and Hatching Eggs. Agrilife extension. Texas.
- Castañeda-Miranda, R. Ventura-Ramos E, del Rocío Peniche-Vera R. & Herrera-Ruiz G. (2006) Fuzzy greenhouse climate control system based on a field programmable gate array. *Biosystems engineering*, 94(2), pp.165-177.
- Data sheet Arduino Mega2560 Board <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>.
- French N A. (1997) Modeling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development, and egg size. *Poultry Science*, 76(1), pp.124-133.
- French N A. (2002) Managing the incubation environment in commercial hatcheries to meet the requirements of the embryo. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 13(3), pp.179-185.
- French N A. (2009) The critical importance of incubation temperature. *Avian Biology Research*, 2(1-2), p.55.
- French, N.A. (1994) Effect of incubation temperature on the gross pathology of turkey embryos. *British poultry science*, 35(3), pp.363-371.
- García-Hierro, J., José, I. R., Pilar, B., Eva, C. C.H. & Belen, D. (2012) Design of a Solar Incubator. Part 1: Monitoring Temperature and Enthalpy Gradients under Commercial Production. En: "International Conference of Agricultural Engineering.
- Gholamrezai, N. Qaderi, K. & Jafari Naeimi, K. (2016) Temperature, Humidity and Energy Consumption Forecasting in the Poultry Hall Using Artificial Neural Network, *Journal of Agricultural Machinery*. Vol. 7, No. 2, Fall - Winter 2017, p. 546-557.
- Javadikia, P. (2010). Design, Implementation and Evaluation of Intelligent System Based on Fuzzy Logic Controller for Greenhouse Automation, Ph.D. dissertation, University of Tehran, Karaj. in Farsi.
- Juan C, R., (2015). *Renewable Energy Contribution To The Energy Supply: Is There Convergence Across Countries?*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015) 290–295.
- Kalantar, M. & Salari, J. (2012) A Handbook for Egg Incubation Technology,

- Mashhadi, S. K. M. & Dashtaki M G N. (2012) Incubator with Fuzzy Logic. *The Journal of Mathematics and Computer Science*.
- Mirzaee- Ghaleh, E. (2013) Development of an intelligent solar system based on fuzzy logic controller for heating of a model poultry house, Ph.D. dissertation, University of Tehran, Karaj. in Farsi.
- Mirzaee-Ghaleh E, Omid M, Keyhani A, & Dalvand M J. (2015) Comparison of fuzzy and ON/OFF controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, pp.187-195
- Mnahil, O. (2013) Solar Power in Sudan, the Perfect Choice and a Promising Future for the Production of Electricity. Sudan News Agency. http://www.sudacon.net/2013/05/blog-post_24.html
- Mohamed, M. S., (2014) BVM, MSc, Diploma Finance. The Sudanese Poultry Industry History, Statistics and Future Investment Challenges. University of Pretoria, Department of Production Animal Studies. *Avi Africa*, June 2014.
- Mousazadeh, H. & Javanbakht, S. (2007) *Photovoltaic for professionals solar electric systems marketing, design and installation*, by: Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers, in Farsi.
- Özçelik M, Ekmen F. & Elmaz Ö. (2009) Effect of location of eggs in the incubator on hatchability of eggs from Bronze turkey breeders of different ages. *South African Journal of Animal Science*, 39(3)
- Saedi, I. (2017) Design, Fabrication and Evaluation of a Rotary Cultivation System with Fertigation Cycle Fuzzy Control Based on Evapotranspiration Estimations and Solar Energy Utilization, Ph.D. dissertation, University of Tehran, Karaj. in Farsi.
- Tchimmoue, G.E., Kamdem, J., Sone, M.E. & Tchapgga, C.T. (2016) Development of a cost-effective ARDUINO based automatic BIRD-EGG incubator.
- Van Brecht, A. Aerts, J.M., Degraeve, P. & Berckmans, D., (2003) Quantification and control of the spatiotemporal gradients of air speed and air temperature in an incubator. *Poultry science*, 82(11), pp.1677-1687.
- Wilson H R. (1990) Physiological requirements of the developing embryo: temperature and turning. *Avian incubation.*, pp.145-156.
- Wilson H R. (1996) Incubation and hatching of ratites. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, EDIS.
- Yaser, R. Y. (2013) Poultry Sector, Promising Economies and Wide Employment Opportunities. Sudan News Agency – SUNA. <http://mod.gov.sd>
- Yildirim I, & Yetisir R. (2004) Effects of different hatcher temperatures on hatching traits of broiler embryos during the last five days of incubation. *South African Journal of Animal Science*, 34(4), pp.211-216.