

مدل سازی رابطه دما و سرعت هوای خروجی در یک جمع کننده خورشیدی صفحه تخت با جریان اجباری

امیر همتیان^{۱*}، یحیی عجبشیرچی^۱ و امیرعباس بختیاری^۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۵

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۳

۱- گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: E-mail: Hematian@tabrizu.ac.ir

چکیده

جمع کننده خورشیدی هوایی دستگاهی ساده برای گرمایش هوا، با استفاده از انرژی خورشیدی است که کاربردهای متنوعی دارد. در این پژوهش، یک جمع کننده خورشیدی هوایی صفحه تخت با صفحه جاذب کرکراهی، به همراه یک سیستم کنترل دور دمنده، طراحی و ساخته شد. سیستم کنترل دور دمنده شامل سه حسگر دمایی LM35، یک میکروکنترلر AVR، دو پنل خورشیدی و یک دمنده بود. سیستم کنترلی، دمای هوای خروجی را اندازه گیری کرده و سپس با ایجاد دورهای متغیر، آن را در یک محدوده دمایی مشخص قرار می داد. جمع کننده به مدت یک هفته در فضای باز مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به میزان اهمیت پارامترهای مختلف اثرگذار در بازدهی جمع کننده، دو پارامتر دما و سرعت هوای خروجی برای مدل سازی عملکرد سیستم انتخاب گردیدند. از بین مدل های رگرسیونی خطی و غیرخطی متداول، هفت مدل که حالت کلی تر و احتمال توجیه بیشتر رابطه بین دو پارامتر مذکور را داشتند، برای تحلیل های آماری انتخاب شدند. براساس نتایج به دست آمده، مدل رگرسیونی چند جمله ای درجه سه، برای تفسیر رابطه تجربی بین دما و سرعت هوای خروجی پیشنهاد گردید. مدل مذکور با ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۹۸۶۱ بهترین برازش را در میان مدل های مورد بررسی دارا بود.

واژه های کلیدی: جمع کننده خورشیدی، دمنده، سیستم کنترلی، مدل رگرسیونی

۱- مقدمه

افزایش بازده و تسهیل انجام کارهای تکراری دستی است (دیانی، ۱۳۸۱). کاربرد این سیستم ها در علوم کشاورزی نیز به سرعت در حال افزایش است. کاهش هزینه سخت افزار و نرم افزار و همچنین پذیرش سریع تر این سیستم ها در بخش کشاورزی منجر به افزایش استفاده از آن ها گردیده است (گیتس و همکاران، ۱۹۹۹). فولر و چارترز (۱۹۹۸) یک سیستم کنترل خودکار دمنده برای جمع کننده های تونلی خورشیدی ساختند. این سیستم به منظور کاهش میزان توان مصرفی مورد نیاز دمنده، از طریق تغییر سرعت آن، با توجه به تغییرات شرایط طراحی گردید. با استفاده از این روش، زمان عملکرد دمنده ۶۷٪ نسبت به حالت عملیات مداوم کاهش یافت. آرجونا و ویدال (۲۰۰۵) از یک سیستم کنترل PID در یک جمع کننده دوار کشاورزی، به منظور خشک کردن زیتون استفاده کردند. این سیستم کنترل، برای کاربری راحت تر و افزایش بهره وری انرژی به کار گرفته شد. باقری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از شبیه سازی رایانه ای به کمک نرم افزار MATLAB، سیستم کنترل خودکار دور دمنده یک خشک کن خورشیدی را مدل سازی و ارزیابی کردند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که موتور دمنده قادر است حول مقدار مطلوب نوسان نماید تا در نهایت به دور مطلوب نزدیک شود. نای برانت و رگنر (۱۹۸۹) با استفاده از یک کنترلر در یک خشک کن خورشیدی، دما و رطوبت

انرژی خورشید، به طور مستقیم یا غیرمستقیم می تواند به دیگر اشکال انرژی مانند گرما و الکتریسیته تبدیل شود. موانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی، شامل متغیر و متناوب بودن میزان انرژی و توزیع پراکنده آن است. انرژی خورشید برای گرمایش آب، گرمایش فضایی ساختمان ها، خشک کردن محصولات کشاورزی و تولید انرژی الکتریسیته مورد استفاده قرار می گیرد. شدت تابش خورشیدی بر روی یک سطح عمودی به اشعه های آفتاب در خارج اتمسفر زمین به عنوان ثابت خورشیدی (I_{sc}) شناخته می شود. هم اکنون مقدار قابل قبول برای I_{sc} ۱۳۵۳ وات بر مترمربع است (استین و هریگان، ۱۹۸۵).

مختاری و سمار (۱۹۹۹) یک مطالعه تجربی بر روی جمع کننده خورشیدی با جریان طبیعی و اجباری هوا انجام دادند. آن ها نشان دادند که بر حسب دمای ورودی ۲۵ درجه سانتی گراد، دمای خروجی هوا تحت جابجایی طبیعی، تا ۷۵ درجه افزایش یافت و همچنین به ازای دمای ورودی ۲۷ درجه سانتی گراد در جابجایی اجباری، افزایش دمای خروجی تا ۵۳ درجه گزارش شد.

امروزه کاربرد سیستم های کنترل در علوم و مهندسی نقش اساسی داشته و عامل دست یابی به کارایی بهینه سیستم های دینامیکی،

نوشته شده بود، در محدوده‌های موردنظر تحقیق کنترل نمود. آزمایشات با استفاده از سیستم فوق بر روی جمع‌کننده، به مدت هفت روز و در هر روز دوازده ساعت (ساعت ۸ الی ۲۰ به وقت محلی) با فاصله‌های زمانی یک ساعت، در تیر ماه ۱۳۹۰ انجام گرفت. در شکل ۱ تصویری از جمع‌کننده آورده شده است.



شکل (۱): جمع‌کننده ساخته شده به ابعاد ۱۵/۰×۱×۲ متر

به منظور بررسی رابطه بین دما و سرعت هوای خروجی از جمع‌کننده توسط مدل رگرسیونی، از بین مدل‌های خطی و غیرخطی متداول، هفت مدل که حالت کلی‌تر و احتمال توجیه بیشتر داده‌های استخراج شده را داشتند، برای آزمایش آماری انتخاب شدند. شکل کلی مدل‌های رگرسیونی پیشنهادی به صورت روابط ذیل است.

$$y = \beta_1 x \quad (۱)$$

$$y = \beta_1 x + \beta_2 x^2 \quad (۲)$$

$$y = \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 \quad (۳)$$

$$y = \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 \quad (۴)$$

$$y = \beta_1 e^{\beta_2(x)} \quad (۵)$$

$$y = \beta_1 x^{\beta_2} \quad (۶)$$

$$y = \beta_1 \ln(x) \quad (۷)$$

از معیارهای بسیار مهم در انتخاب مدل‌های رگرسیونی، می‌توان به معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیونی اشاره کرد. همچنین عملکرد هر مدل توسط ضریب تبیین^۳ ارزیابی می‌شود (روحانی و همکاران، ۱۳۸۸). از آنجا که استفاده از میانگین داده‌ها، اختلافات را بهتر نشان می‌دهد و در مسائل آماری بیشتر مورد توجه است، لذا میانگین داده‌های به‌دست آمده در طول دوره آزمایش محاسبه گردید. سپس داده‌های میانگین-

غلات را به صورت بهینه تنظیم کردند. نتایج آزمایش‌های آنان نشان داد که با استفاده از سیستم‌های کنترلی می‌توان دما را به طور دقیق کنترل نمود.

به همین منظور و با توجه به نیاز به دمای کنترل شده در سیستم‌های گرمایشی، انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه و ارائه مدل‌های مناسب برای انواع جمع‌کننده‌ها امری ضروری و مفید خواهد بود. در این مطالعه، یک جمع‌کننده خورشیدی هوایی صفحه تخت ساخته و به یک سیستم کنترلی مجهز گردید. سپس رابطه بین دما و سرعت هوای خروجی در جمع‌کننده مذکور مورد محاسبات آماری و مدل‌سازی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

جمع‌کننده مورد استفاده در این پژوهش، در ابعاد ۱۵/۰×۱×۲ متر ساخته شد. در ساخت قاب جمع‌کننده از پروفیل فولادی استفاده گردید. به منظور عایق‌کاری قسمت زیرین جمع‌کننده، بین صفحه جاذب و صفحه زیرین آن، از چوب و اطراف جمع‌کننده از پشم شیشه به ضخامت ۵ سانتی‌متر استفاده شد. صفحه جاذب، از ورق فولادی به ضخامت ۰/۵ میلی‌متر بود و برآمدگی‌هایی به شکل دوزنقه متساوی‌الاضلاع بر روی آن طراحی شده بود که باعث افزایش سطح تماس حرارتی با آن می‌گردید. این تمهیدات، بازده گرمایی را به علت ایجاد اختلاف دمای بیشتر در ورودی و خروجی جمع‌کننده، افزایش می‌دهد. صفحه جاذب به وسیله رنگ روغنی سیاه پوشیده شد. یک شیشه براق با ضخامت ۴ میلی‌متر به عنوان صفحه پوشش جمع‌کننده، مورد استفاده قرار گرفت. جمع‌کننده در زاویه ۲۹/۵ درجه در راستای شمال به جنوب، در محوطه باز ساختمان شماره دو دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز مستقر شد. با توجه به این‌که عرض جغرافیایی محل آزمایش، ۳۶/۲ درجه است (و معمولاً جمع‌کننده‌های خورشیدی با توجه به عرض جغرافیایی محل آزمایش قرار داده می‌شوند)، اما با توجه به آزمایشات مختلفی که بر روی حداکثر تابش به سطح جمع‌کننده، با تغییر زوایای آن انجام گرفت، زاویه ۲۹/۵ درجه به عنوان بهترین زاویه برای قرارگیری جمع‌کننده در نظر گرفته شد. شدت تابش نور خورشید در زاویه ۲۹/۵ درجه در بیشینه مقدار خود قرار داشت. برای تأمین جریان هوای ورودی به جمع‌کننده، برای ثابت نگه‌داشتن دمای هوای خروجی در محدوده‌های موردنظر تحقیق، از یک دمنده که با سرعت متغیر کار می‌کرد، استفاده گردید. یک میکروکنترلر^۱ AVR برای تأمین دوره‌های متغیر دمنده به کار برده شد و انرژی لازم برای راه‌اندازی قطعات مدار کنترلی از طریق دو پنل خورشیدی به ابعاد ۱۵×۲۲۰ سانتی‌متر و توان ۵ وات تأمین شد. میکروکنترلر با میانگین‌گیری از دمای سه حسگر^۲ LM35 که در خروجی جمع‌کننده قرار داشتند، دور دمنده را با توجه به برنامه‌ای که برای آن

^۱Advanced Virtual RISC (Reduced Instruction Set Computing)

^۲Sensor

^۳Coefficient of determination (R^2)

گیری شده، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. در جدول ۱، میانگین دمای ورودی، دمای خروجی، دور دمنده، سرعت هوای خروجی و بازده جمع کننده در روزهای آزمایش، در میانگین ساعات داده برداری، آورده شده است. البته لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به دمای ورودی و دور دمنده، در تخمین رابطه رگرسیونی بین دما و سرعت هوای خروجی، به طور مستقیم نقش ندارند.

جدول (۱): میانگین داده‌ها در روزهای انجام آزمایش

بازده (%)	میانگین سرعت هوای خروجی از جمع کننده (m/s)	میانگین دور دمنده (rpm)	میانگین دمای خروجی از جمع کننده (°C)	میانگین دمای ورودی به جمع کننده (°C)	ساعت داده برداری به وقت محلی
۱۳/۱	۰/۴۲	۴۸۷/۷	۳۸/۲	۲۱/۶	۹ تا ۸
۱۳/۵	۰/۵۱	۵۹۲/۴	۳۹/۴	۲۴	۱۰ تا ۹
۱۴/۳	۰/۶۷	۷۸۵/۹	۴۰/۶	۲۷/۴	۱۱ تا ۱۰
۱۷/۱	۰/۸۶	۱۰۰۶/۹	۴۳/۷	۳۰/۶	۱۲ تا ۱۱
۱۶/۵	۰/۹۱	۱۰۸۱/۳	۴۴/۶	۳۲/۶	۱۳ تا ۱۲
۲۱/۳	۱/۱۰	۱۲۲۳/۳	۴۵/۹	۳۳/۷	۱۴ تا ۱۳
۱۸/۷	۰/۹۷	۱۱۰۸/۶	۴۴/۸	۳۳/۱	۱۵ تا ۱۴
۱۹/۲	۰/۸۴	۹۶۱/۴	۴۳/۶	۳۰/۶	۱۶ تا ۱۵
۲۲/۲	۰/۸۰	۹۱۴	۴۲/۹	۲۸/۹	۱۷ تا ۱۶
۲۲/۳	۰/۶۹	۷۸۷	۴۱/۵	۲۶/۷	۱۸ تا ۱۷
۲۷/۹	۰/۶۰	۶۹۰	۴۰/۷	۲۳/۷	۱۹ تا ۱۸
۲۷/۵	۰/۵۳	۵۹۴/۴	۳۹/۳	۲۲/۳	۲۰ تا ۱۹

عملکرد را بر حسب بزرگی ضریب تبیین اصلاح شده نیز بررسی کرد. بر اساس این معیار، مدل چندجمله‌ای درجه سه و درجه چهار، با ضریب تبیین اصلاح شده یکسان ۰/۹۸۶۱ بالاترین اعتبار را دارا هستند. بنابراین رابطه‌ای که درجه کمتری دارد (یعنی رابطه درجه سه)، به عنوان بهترین رابطه برآزش شده، انتخاب گردید. مدل رگرسیونی بین دما و سرعت هوای خروجی از جمع کننده، در رابطه ۸ آورده شده است. همچنین نمودار رابطه مذکور در شکل ۲ رسم گردید.

$$V = 0.0013t^3 - 0.1613t^2 + 6.7761t - 95.138 \quad (۸)$$

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی، با هدف آزمون معنی داری ضرایب رگرسیونی مدل‌های مورد نظر و همچنین آماره F و ضریب تبیین هر مدل، در جدول ۲ آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضرایب رگرسیونی کلیه مدل‌ها، در سطح احتمال ۰/۱ معنی دار هستند. با توجه به نتایج این جدول، آماره F در تمام مدل‌ها و در سطح احتمال ۰/۱ معنی دار است. بنابراین، می‌توان از این مدل‌ها برای تخمین رابطه مورد نظر استفاده کرد اما برای انتخاب بهترین مدل، باید

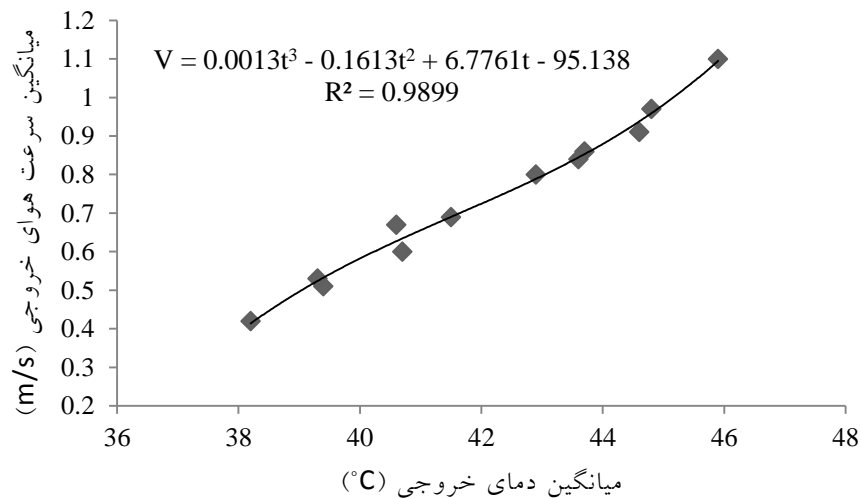
جدول (۲): نتایج تحلیل رگرسیونی داده‌ها

نوع مدل	β_5	β_4	β_3	β_2	β_1	عرض از مبدأ	F	ضریب تبیین اصلاح شده
خطی (درجه یک)	-	-	-	-	۰/۰۸۱۸**	-۲/۷۰۳۲	۵۵۸/۴**	۰/۹۸۰۶
چندجمله‌ای (درجه دو)	-	-	-	۰/۰۰۱۸**	-۰/۰۷۰**	۰/۴۷۷۴	۲۸۳/۰**	۰/۹۸۰۹
چندجمله‌ای (درجه سه)	-	-	۰/۰۰۱۳**	۰/۱۶۱۳**	۶/۷۷۶۱**	-۹۵/۱۳۸	۲۸۵/۳**	۰/۹۸۶۱
چندجمله‌ای (درجه چهار)	-	۰/۰۰۰۲**	-۰/۰۳۹**	۲/۳۸۰۵**	-۶۴/۳۱۲**	۶۴۹/۳۴	۵۰۰/۹**	۰/۹۸۶۱
نمایی	-	-	-	۰/۱۱۵۳**	۰/۰۰۵۶**	-	۳۸۰/۹**	۰/۵۵۶۸
توانی	-	-	-	۴/۸۴۶**	۱×۱۰ ^{-۸} **	-	۴۴۹/۴**	۰/۷۱۱۹
لگاریتمی	-	-	-	-	۳/۴۲۷۷**	-۱۲/۰۷۲	۴۸۶/۹**	۰/۹۷۷۹

** معنی دار در سطح ۰/۹۹

فرض دمای 30°C مینا قرار گرفت و در این دما (و دماهای کمتر از آن) دمنده خاموش شده و سرعت به صفر می‌رسد.

با استفاده از رابطه ۸ می‌توان سرعت دمنده را تحت شرایط دمایی مختلف تخمین زد. با توجه به مدل استخراجی، سرعت هوای خروجی در دمای $34/5^{\circ}\text{C}$ صفر می‌گردد، که در این پژوهش به عنوان پیش



شکل (۲): میانگین سرعت هوای خروجی نسبت به میانگین دمای هوای خروجی از جمع‌کننده

تبیین اصلاح شده $0/9861$ قابل قبول بوده و می‌توان با توجه به این رابطه برای سیستم کنترلی به‌طور دقیق برنامه‌نویسی کرد. البته برای این منظور، آگاهی از مشخصات دور دمنده و به تبع آن سرعت دمنده، ضروری است. برای تفسیر رابطه بین دما و سرعت هوای خروجی جمع‌کننده‌های مشابه و همچنین به منظور طراحی دقیق سیستم‌های کنترلی تثبیت دما در محدوده‌های موردنظر کاربر، مدل محاسبه شده در این پژوهش را می‌توان توصیه نمود.

رابطه بین میانگین دمای خروجی و میانگین سرعت هوای خروجی در شکل ۲ نمایش داده شده است. نمودار شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش دمای خروجی، سرعت دمنده نیز افزایش می‌یابد. این روند را می‌توان نشان‌دهنده عملکرد صحیح دستگاه، در راستای تثبیت نسبی دما دانست.

۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، پیش‌فرض‌هایی در نظر گرفته شد که اساس کار و برنامه‌نویسی بودند. با توجه به این پیش‌فرض‌ها، باید یک رابطه منطقی بین سرعت دمنده و دمای خروجی حاصل می‌شد. برای رسیدن به این هدف، نیاز به کارکرد سیستم در شرایط واقعی بود. برای این منظور، یک سیستم کنترلی بر روی یک جمع‌کننده نمونه نصب شد. با توجه به آزمایشات و داده‌برداری‌های انجام گرفته، رابطه چندجمله‌ای درجه سه، برای سرعت دمنده و دمای خروجی به‌دست آمد. این رابطه با ضریب

ضمایم

فهرست علائم و اختصارات	
ثابت خورشیدی	I_{sc}
ضریب تبیین	R^2
ضریب رگرسیون	B

منابع مورد استفاده

- باقری ن، س. محتسبی، ع. کیهانی، ر. عباس‌زاده و پ. جوادی‌کیا. ۱۳۸۷. ارائه مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای برای سیستم کنترل خودکار خشک‌کن خورشیدی. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد.
- دیانی م. ۱۳۸۱. مهندسی کنترل. چاپ سوم. مؤسسه علمی فرهنگی نص.
- روحانی ع، ا. رنجبر، ی. عجبشیرچی، م. عباسپور و م. ولیزاده. ۱۳۸۸. پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور دو چرخ محرک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با رگرسیون. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۶(۱): ۲۲۵-۲۳۵.

- Mokhtari, F. and D. Semmar. 1999. *Etude experimentale d'un capteur solaire a air*. Revue des Energies Renouvelables. pp. 243-246.
- Fuller, R.J. and W.W.S. Charters. 1998. **Performance of a solar tunnel collector with microcomputer control**. Journal of Solar Energy. 59(4-6): 151-154.
- Arjona, R.P. and F. Vidal. 2005. **Automation of a rotary collector**. Journal of Food Engineering. 68(2): 239-242.
- Gates, R.S., K. Chao and N. Sigrimis. 1999. **Fuzzy control simulation of plant and animal environments**. ASAE Paper, No. 993196.
- Nybrant, T.G. and P.J.S. Regner. 1989. **Adaptive control for continuous grain dryers**. ASAE Paper, No. 2985-3011.
- Stine, W.B. and R.W. Harrigan. 1985. **Solar energy fundamentals and design**. John Wiley and Sons Inc., New York.

Modelling of the Relation Between Temperature and Velocity of Air at the Outlet of a Flat Plate Solar Collector

A. Hematian*¹, Y. Ajabshirchi and A. A. Bakhtiari¹

Received: 26 May 2014

Accepted: 22 Feb 2015

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

*Corresponding author: E-mail: hematian@tabrizu.ac.ir

Abstract

Solar air heating collector is a simple device used for air heating by solar energy that can be applied for various kinds of tasks. In this study, a flat-plate solar air heating collector with a shutter window absorber and blower speed control system was designed and fabricated. The blower speed control system consists of three LM35 sensors, AVR microcontroller, two solar panels and a blower. Outlet air temperature was measured by control system providing variable speed to put it in specified temperature range. The collector was evaluated in outdoor open area for a week. Regarding the importance of different parameters affecting the collector efficiency, the temperature and velocity of air at the outlet were selected for modeling system performance. From conventional linear and nonlinear regression models, eight models which were more general and more likely to explain the relationship between two above-mentioned parameters were selected for statistical analysis. Based on the results, the fourth-degree polynomial regression model was proposed for interpretation of the empirical relation between temperature and velocity of air at the outlet of the collector. The model with coefficient of determination equal to 0.99 showed the best fit among the investigated models.

Keywords: Blower, Control system, Regression model, Solar collector.