مقاله

مدلسازی و پیش‌بینی دمای سیال خروجی از کلکتور تخت

مصطفی زمانی محی‌آبادی *
عضو هیئت علمی گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت‌بالا
دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان
m.zamani@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

چکیده

امروزه با توجه به دو بحران انرژی و محیط زیست، استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. خورشید نیز با توجه به پایان‌ناپذیری و ظرفیت بالا در ایران، به‌عنوان یکی از انرژی‌های نو مورد توجه می‌باشد. گرمایش خورشیدی به‌معنای استفاده از انرژی خورشید در جهت تأمین نیازهای گرمایشی می‌باشد، در حالی‌که بیشترین مصرف انرژی‌های فسیلی در جهت تولید گرما می‌باشند. در این مقاله براساس دیاگرام P&ID اجراشده در دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان یک مدل شبکهٔ عصبی برای کلکتور خورشیدی تخت طراحی شده است. نتایج گواه عملکرد خوب مدل شبکهٔ عصبی ارائه‌شده می باشد.

واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی،کلکتور، مدلسازی، شبکهٔ عصبی

۱. مقدمه

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبروست که به شکل گسترده‌ای با یکدیگر ارتباط دارند. از یک طرف جوامع صنعتی و شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه‌اند و از طرف دیگر مشاهده می‌شود که مواد اولیه و سوخت مورد نیاز با شتاب روزافزون در حال اتمام است. خورشید به‌عنوان یک منبع بی‌پایان انرژی می‌تواند یک راه‌حل مناسب برای مشکلات موجود در ارتباط با انرژی و محیط زیست باشد [۱-۲]. در مأخذ [۳] و [۴] یک مدل ریاضی یک‌بعدی برای شبیه‌سازی عملکرد گذرایی که در مایع یک کلکتور صفحه‌ای تخت رخ می‌دهد، ارائه شده است. این مدل تمامی سیستم یک کلکتور خورشیدی شامل صفحهٔ تخت و تانک ذخیره را شبیه‌سازی می‌نماید و وابستگی به زمان در خواص ترموفیزیکی و همچنین ضرایب انتقال حرارت را در نظر می‌گیرد و بر پایهٔ حل معادلاتی که تبدیل انرژی را برای شیشه پوشش، شکاف هوایی بین شیشه و جاذب، جاذب، سیال عامل، عایق و تانک ذخیره توصیف می‌کند استوار است. معادلات دیفرانسیل با استفاده از روش دیفرانسیل محدود ضمنی در یک رویه تکراری حل شده و با استفاده از نرم‌افزار متلب به نمایش درآمده‌اند. اگرچه مفهوم شبکه‌های عصبی ۵۰ سال

پیش کشف شده، اما در دهه‌های اخیر از لحاظ نرم‌افزاری توسعه داده شده است. شبکه‌های عصبی کاربردهای موفقیت‌آمیزی در رشته‌های گوناگون مهندسی، پزشکی، اقتصاد و غیره داشته است. در مأخذ [۵] چندین مطالعه روی کاربرد شبکه‌ای عصبی جهت مدلسازی کلکتورهای خورشیدی انجام شده است. در مآخذ [۶] و [۷] با استفاده از شبکه‌های عصبی روشی جهت تعیین پارامترهای سیستم‌های حرارتی خورشیدی پیشنهاد شده است.

هدف این مقاله، استفاده از شبکه‌های عصبی جهت ارائهٔ مدلی برای تخمین دمای خروجی از کلکتورها و پیش‌بینی دمای ۵ دقیقهٔ آینده خروجی از کلکتورهای موجود است. با داشتن مدلی دقیق در این رابطه نه‌تنها می‌توان پارامترهای مختلف را بهینه نمود، بلکه اعمال فرایند کنترلی مجموعه و فرایندهای مشابه را نیز انجام داد. در ادامه، نخست مجموعهٔ طراحی‌شده در سایت انرژی‌های نو دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، که در مقالهٔ حاضر مورد استفاده قرار گرفته، تشریح خواهد شد و سپس شبکه‌های عصبی و نتایج ذکر خواهد شد.

۲. مجموعهٔ طراحی‌شده

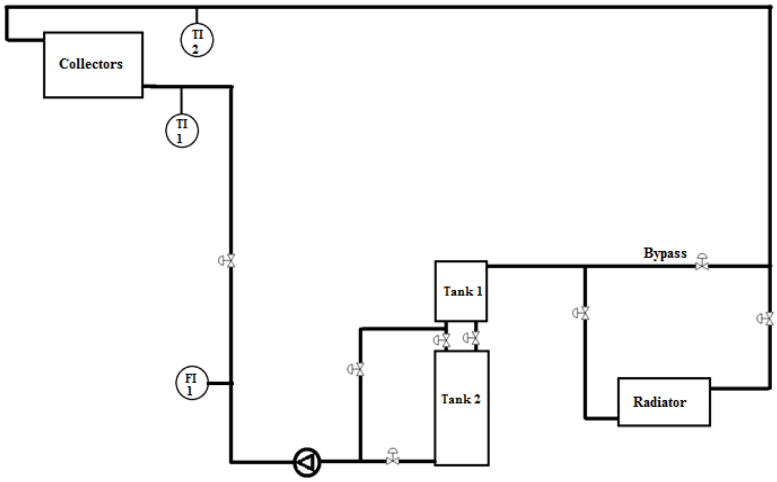
کلکتورهای صفحه‌ای تخت خورشیدی از جمله اجزای اصلی و اساسی سیستم‌های گرمایش خورشیدی هستند که وظیفهٔ آنها جذب تابش خورشید و تبدیل آن به گرماست. کلکتور صفحه‌ای تخت گرما و حرارت تولیدشده را در اختیار سیال واسطیف که درون لوله‌های آن جریان دارد، قرار می‌دهد و برای جذب تابش خورشید از صفحات فلزی تیره‌رنگی که به‌عنوان جاذب عمل می‌کند، استفاده می‌نمایند. برای اینکه حرارت جذب‌شده توسط کلکتور به بیشترین مقدار خود برسد، از یک پوشش شیشه‌ای روی صفحات جاذب استفاده می‌کنند تا هم بتوان از اثر گلخانه‌ای بهره گرفت و هم از اتلاف حرارت به محیط جلوگیری کرد. این کلکتور به‌منظور حرارت‌دادن به مایع یا هوا تا رسیدن آن به درجه حرارت کمتر از ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. عملکرد و روش کار کلکتور خورشیدی صفحه‌تخت از قوانین بنیادی ترمودینامیک، انتقال حرارت و مکانیک سیالات پیروی می‌کند [۳-۴].

در سایت انرژی‌های نو دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان مجموعه‌ای تحقیقاتی با استفاده از کلکتورهای خورشیدی جهت تأمین گرمای مورد نیاز کانکس خورشیدی اجرا شده است (شکل ۱). سیستم مورد نظر براساس یک P&ID طراحی شده است.

شکل ۱. کلکتورهای نصب‌شده روی سقف کانکس [۸]

در شکل ۲ دیاگرام P&ID [۱] نشان داده شده است، همان‌طور که از شکل هم مشخص می‌باشد در ابتدا مخازن مربوطه شارژ شده (سیال مورد نظر در اینجا آب می‌باشد) سپس توسط پمپ مربوطه، سیال به‌سمت کلکتورها روانه شده و بعد از کلکتورها به‌سمت مسیر بای‌پس و یا رادیاتور داخل کانکس می‌رود و در نهایت مجدداً وارد مخزن می‌گردد [۸]. در این سیستم از ۲ کلکتور تخت ساخت شرکت سولارکار استفاده شده است (شکل ۱). این کلکتورها به‌صورت ثابت (بدون ترکر) روی سقف کانکس و با زاویهٔ ۳۰ درجه نسبت به افق (زاویهٔ انتخاب‌شده برای سقف کانکس) نصب شده‌اند. جهت بررسی شرایط و بازده کلکتورهای خورشیدی نیازمند داشتن دمای سیال ورودی و خروجی کلکتورهای مذکور می‌باشیم. جهت بررسی از ۲ ترموکوپل برای اندازه‌گیری دما به‌صورت لحظه‌ای استفاده

می‌شود. یکی از آنها دمای سیال ورودی را اندازه‌گیری می‌کند و دیگری دمای سیال خروجی را. در داخل کانکس خورشیدی سیستم مانیتورینگ این دو ترموکوپل نصب شده که به‌صورت لحظه‌ای دمای این دو نقطه را نشان می‌دهد. جهت اندازه‌گیری دبی سیستم در شرایط تست از روتامتر نشان داده شده در شکل ۴ استفاده شده است [۸].



شکل ۲. دیاگرام P&ID سیستم گرمایش خورشیدی سایت انرژی های نو دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان [۸]

شکل ۳. موقعیت ترموکوپل‌ها و سیستم مانیتورینگ [۸]

شکل ٤. روتامتر و پمپ استفاده‌شده [۸]

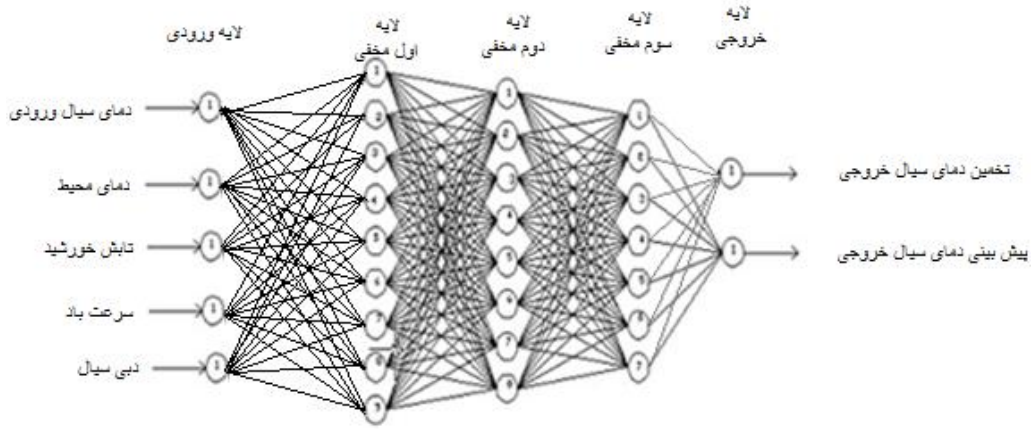
۳. شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی الهام گرفته از عملکرد و نحوهٔ کار شبکه‌های عصبی بیولوژیکی می‌باشند و در واقع مدل‌های ریاضی برای پردازش سریع و دقیق اطلاعات هستند. شبکه‌های عصبی چه در بعد آنالیز و توسعهٔ

ساختاری و چه در بعد پیاده‌سازی سخت‌افزاری از نظر کمی و کیفی در حال رشد و پیشرفت می‌باشند [۹-۱۱]. شبکه‌های عصبی از یک‌سری لایه‌ها شامل اجزای سادهٔ پردازشگر به‌نام نرون تشکیل شده‌اند که به‌صورت موازی با هم عمل می‌کنند. هر لایهٔ ورودی به یک یا تعداد بیشتری لایهٔ میانی[۲] مرتبط می‌باشد و لایه‌های میانی نیز به لایه‌های خروجی مرتبط می‌شوند. جواب شبکه نیز نقش خروجی را برای سیستم ایفا می‌کند. هر لایه می‌تواند از تعدادی نرون با توابع تبدیل متفاوت برخوردار باشد؛ یعنی مدل‌های نرون‌ها در لایه‌ها می‌توانند متفاوت در نظر گرفته شوند. مشخصه‌های قابل توجه شبکه‌های عصبی قابلیت یادگیری آنهاست، به‌طوری‌که قادرند هر بار وزن‌هایشان را با نمونهٔ ورودی اصلاح کنند. در یک جمله، شبکه‌های عصبی مانند موجودات زنده قابلیت یادگیری دارند. این آموزش استنتاجی ممکن است در تشخیص صدا، شبیه‌سازی مسیر و جز این‌ها باشد. یکی از انواع شبکه‌های عصبی، پرسپترون می‌باشد که به‌صورت پرسپترون تک‌لایه و چندلایه موجود هستند. پرسپترون تک‌لایه می‌تواند مسائل مجزای خطی را دسته‌بندی کند و برای مسائل پیچیده‌تر لازم است که از تعداد بیشتری لایه استفاده کنیم [۹-۱۱].

٤. نتایج

در تحقیق صورت‌گرفته پارامترهای تأثیرگزار روی مدلسازی کلکتورهای موجود اندازه‌گیری شده‌اند، در اینجا شش پارامتر دمای سیال ورودی، دمای سیال خروجی از کلکتور، دمای محیط، تابش خورشید، سرعت باد و مقدار دبی سیال اندازه‌گیری شده است. جهت تکمیل داده‌ها دبی سیال برای هر روز ثابت در نظر گرفته شده و دیگر پارامترها ثبت شده‌اند. در سیستم طراحی‌شده دمای سیال خروجی و مقدار پنج دقیقهٔ آیندهٔ آن به‌عنوان خروجی شبکهٔ عصبی و دیگر پارامترهای ذکرشده به‌عنوان ورودی شبکهٔ عصبی در نظر گرفته شده‌اند. در شکل ۵ این ورودی و خروجی‌ها نشان داده شده‌اند.



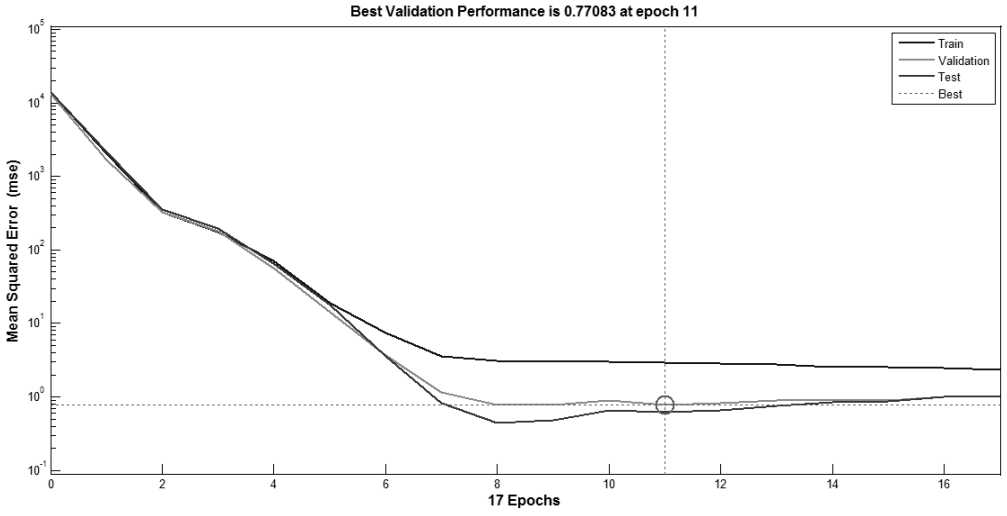
شکل ۵. ورودی‌ها و خروجی‌های استفاده‌شده در شبکهٔ عصبی

در این بخش شبکه‌هایی با تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها و توابع تحریک مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول ۱ ذکرشده است. در این آزمایشات از تابع آموزش Trainlm استفاده شده است، در ضمن برای تعیین تابع محرک و تعداد نرون‌ها به روش سعی و خطا عمل کرده و حالتی که MSE[۳] کمتر و R[۴] مناسب می‌باشد. تابع تحریک خروجی Purelin در نظر گرفته شد. در این شبیه‌سازی ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش شبکهٔ عصبی، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی[۵] و ۱۵ درصد نیز برای آزمون[۶] سیستم در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج جدول ۱، تابع محرک در

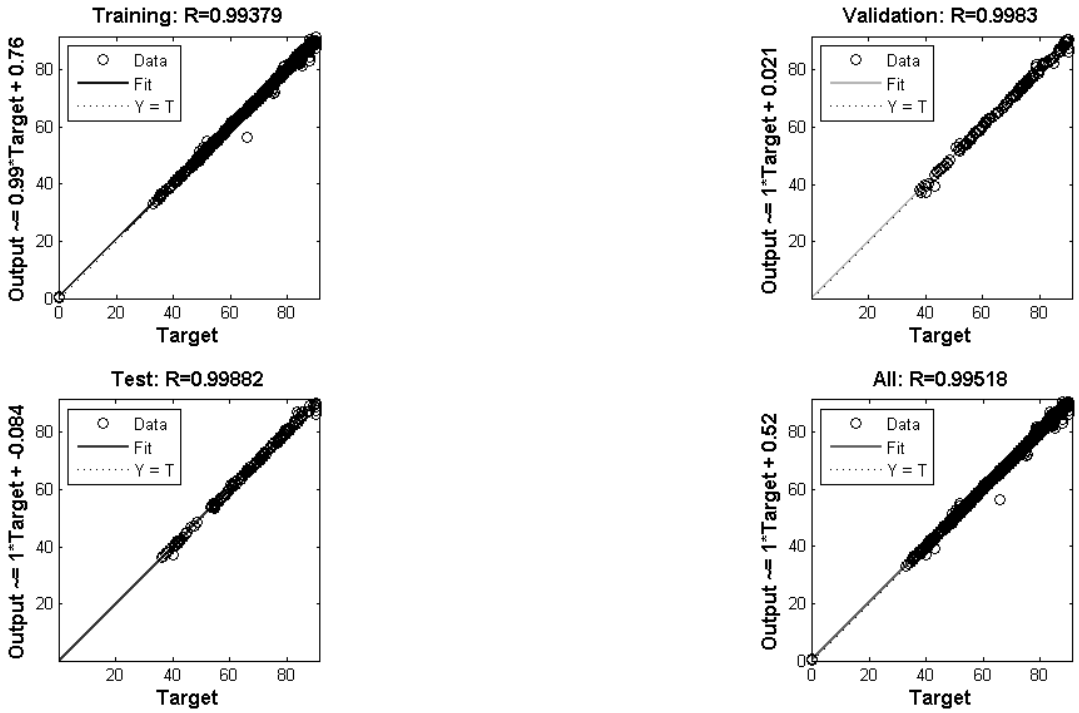
لایه‌های مخفی logsig, tansig, tansig با تعداد نرون [۱۰ ۱۰ ۱۰] انتخاب گردید. در شکل ۶ نمودار همگرایی شبکهٔ عصبی و رسیدن به حداقل میانگین مربعات خطا نشان داده شده است. مشخص است که شبکهٔ عصبی قادر است با کمترین تکرار به همگرایی مورد نظر و حداقل MSE برسد. شکل ۷ نشان‌دهندهٔ ارتباط بین مقادیر واقعی دمای سیال خروجی از کلکتور با مقادیر برآورده شده توسط شبکهٔ عصبی می‌باشد. در این شکل داده‌های آموزش[۷]، اعتبارسنجی و آزمون نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، نزدیک‌بودن شیب خط عبوری به عدد یک و کم بودن مقدار عرض از مبدا مؤید برتری نتایج مدل شبکهٔ عصبی در تخمین توان تولیدی پنل‌ها می‌باشد.

جدول ۱. نتایج شبیه‌سازی شبکهٔ عصبی

ANN Topology Hiden layer	Neurons in layer	itreations	Error (MSE)	R		
				training	validation	Test
logsig	[1]	41	0.193	0.99174	0.99965	0.99959
logsig	[5]	8	1.4356	0.99306	0.99645	0.99899
logsig	[10]	5	14.9712	0.99936	0.96799	0.99973
Logsig-tansig	[1 1]	125	0.39345	0.99896	0.99934	0.95674
Logsig-tansig	[5 5]	5	15.1076	0.99909	0.97156	0.89045
Logsig-tansig	[10 10]	10	1.0355	0.99402	0.99775	0.99787
Logsig-tansig-purelin	[1 1 1]	283	0.19165	0.99204	0.99952	0.99951
Logsig-tansig-tansig	[5 5 5]	108	0.21818	0.99273	0.99951	0.97144
logsig-tansig-tansig	[10 10 10]	11	0.77083	0.99379	0.9983	0.99882

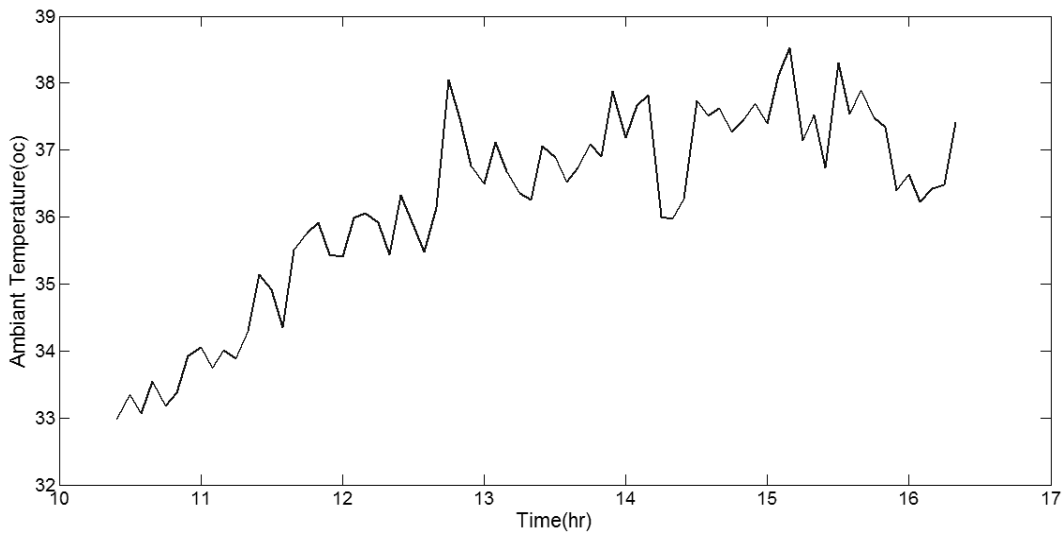


شکل ٦. نمودار همگرایی شبکه عصبی

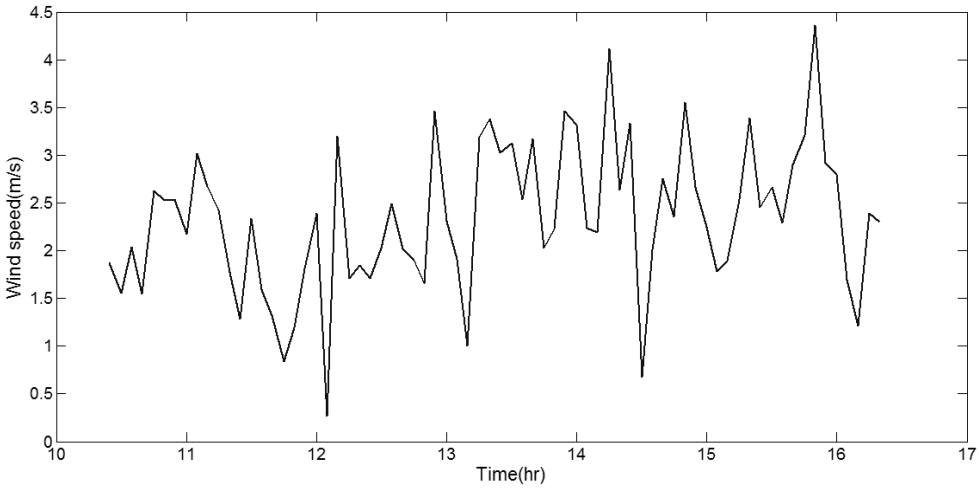


شکل ۷. ارتباط بین مقادیر واقعی دمای سیال خروجی از کلکتور با مقادیر برآورده شده توسط شبکهٔ عصبی

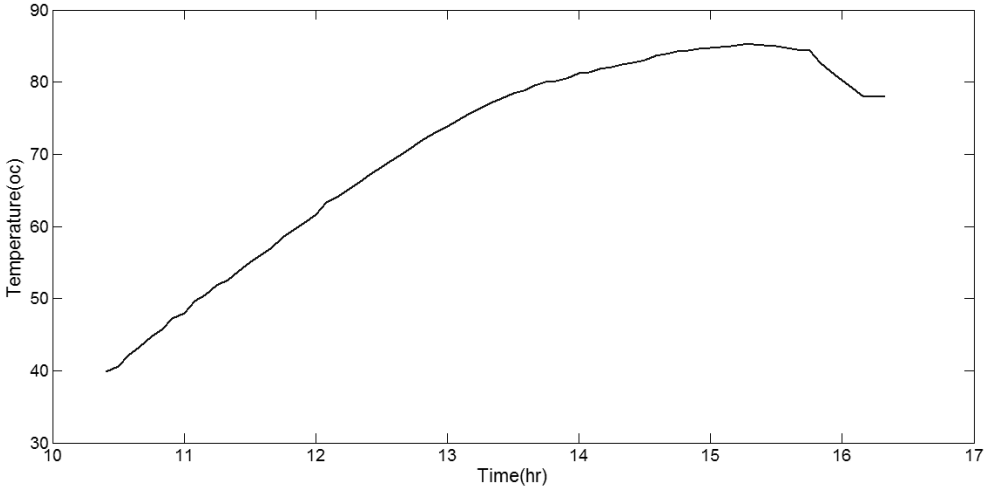
در ادامه مدل شبکهٔ عصبی انتخاب‌شده ارزیابی می‌شود. برای این منظور داده‌های ورودی برای روز ۱۳۹۴/۰۴/۱۹ به مدل داده شده و دمای سیال خروجی و دمای ۵ دقیقهٔ بعد آن پیش‌بینی شده است. در این روز دبی سیال ۹ لیتر بر دقیقه به‌صورت ثابت است. شکل‌های ۸ تا ۱۱ ورودی‌های دمای محیط، سرعت باد، دمای سیال ورودی و تابش خورشید را برای روز مورد نظر نشان می‌دهد. در شکل ۱۲ دمای سیال خروجی از مدل و داده‌های واقعی برای مقدار تخمین زده شده و پیش‌بینی شدهٔ روز مورد نظر مقایسه شده است.



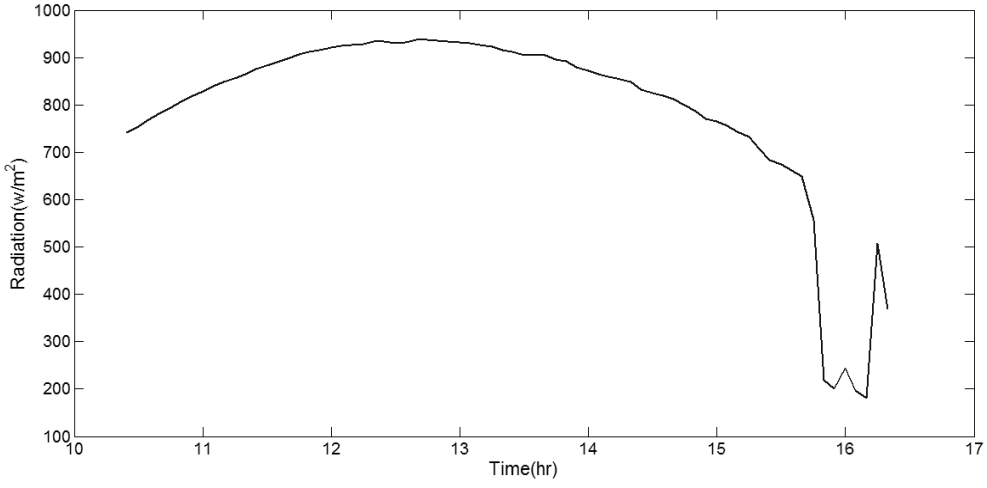
شکل ۸ دمای محیط در روز ۹٤/۰٤/۱۹



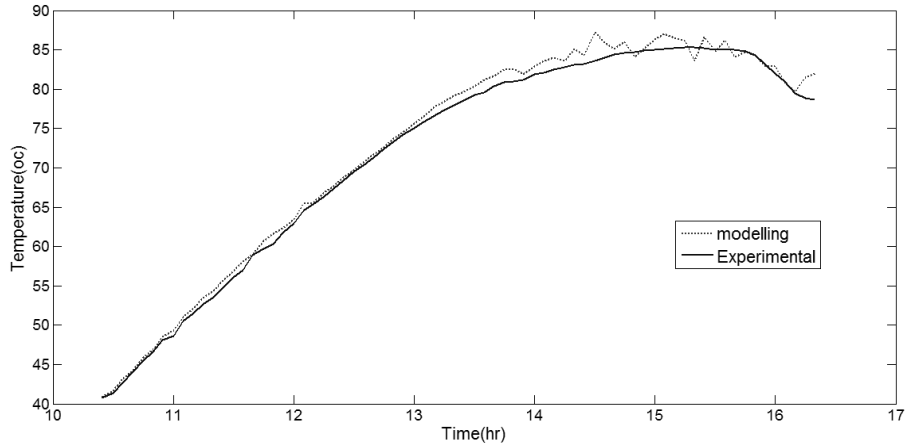
شکل ۹. سرعت باد اندازه‌گیری شده در روز ۹۴/۰۴/۱۹



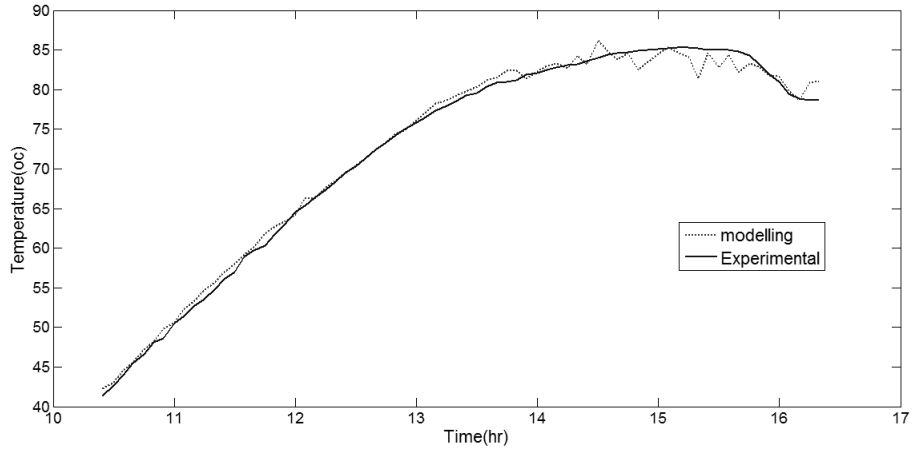
شکل ۱۰. دمای سیال ورودی به کلکتور در روز ۹۴/۰۴/۱۹



شکل ۱۱. تابش خورشید اندازه‌گیری شده در روز ۹۴/۰۴/۱۹



شکل(۱۲): مقایسه شبکهٔ عصبی با داده‌های اندازه‌گیری شده برای تخمین دمای سیال خروجی از کلکتور برای روز ۹۴/۰۴/۱۹



شکل ۱۳. مقایسهٔ شبکهٔ عصبی با داده‌های اندازه‌گیری شده برای پیش بینی ۵ دقیقه آینده دمای سیال خروجی از کلکتور برای روز ۹۴/۰۴/۱۹

۵. نتیجه‌گیری

شبکهٔ عصبی از روش‌های محاسباتی هوشمند می‌باشد که مزیت اصلی آن سرعت بالا و دقت مطلوب در پیش‌بینی متغیرهای پیچیده با نگاشت خطی و غیرخطی است. در این مقاله یکی از ساده‌ترین و پرمصرفترین کاربردهای انرژی خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از شبکه‌های عصبی مدلی برای کلکتورهای تخت به‌دست آمده است. در این مدل تابش خورشید، دمای محیط، سرعت باد، دمای سیال ورودی به کلکتور و دبی سیال به‌عنوان ورودی شبکهٔ عصبی در نظر گرفته شده و دمای سیال خروجی و پیش‌بینی ۵ دقیقهٔ آیندهٔ آن به‌عنوان خروجی شبکهٔ عصبی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان‌دهندهٔ مدلسازی قابل اعتماد مجموعه است. با استفاده از مدل موجود می‌توان به بهینه‌سازی پارامترهای مختلف پرداخت و اعمال کنترلرهای مختلف نیز قابل اجراست.

۶. مآخذ

[۱] زمانی محی‌آبادی، مصطفی، سید علی‌اکبر صفوی، سید وحید نقوی، سید محمد حسام محمدی، "بررسی عملکرد چرخهٔ روغن نیروگاه سهموی خورشیدی شیراز بخش اول: مدلسازی و مانیتورینگ" *مهندسی مکانیک*، ش. ۷۰، ۱۳۹۴، ص. ۶۱-۶۷.

[۲] زمانی محی‌آبادی، مصطفی، سید علی‌اکبر صفوی، سید وحید نقوی، سید محمد حسام محمدی، "طراحی و توسعهٔ یک محیط شبیه‌ساز جهت نیروگاه ۲۵۰ کیلووات خورشیدی شیراز بر پایه مدلسازی ترکیبی"، *نشریه انرژی ایران*، ج. ۳، ۱۳۹۱.

[۳] زمانی محی‌آبادی، مصطفی، رسول جهرمی، "مدلسازی کلکتورهای خورشیدی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان و اعتبارسنجی مدل"، بیست و سومین همایش سالانهٔ بین‌المللی مهندسی مکانیک ایران.

[4] Zima, W., A .Dziewa. "Modelling of liquid flatplate solar collector operation in transient states: Proc. IMechE Part A." *Journal of Power and Energy*, 2001, pp. 53-62.

[5] So¨zen, A., Arcaklıog˘lu, E. "Effect of relative humidity on solar potential." *Applied Energy*, 82(4), 2005, pp. 345–367.

[6] So¨zen, A., E. Arcaklıog˘lu. "Exergy analysis of an ejectorabsorbtion heat transformer using artificial neural network approach." *Applied Thermal Engineering*, 27(2–3), 2007, pp. 481–491.

[7] Kalogirou, S. A. "Optimization of solar systems using artificial neural-networks and genetic algorithms." *Applied Energy*, 77, 2004, pp. 383–405.

[۸] زمانی محی‌آبادی، مصطفی. "اجرای سیستم گرمایش خورشیدی سایت انرژی های نو دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان." *مهندسی مکانیک*، ش. ۹۸، ۱۳۹۳، ص. ۵۶-۶۳.

[۹] زمانی محی‌آبادی، مصطفی. "پیش‌بینی لحظه‌ای تابش کل خورشید در شهر رفسنجان توسط شبکهٔ عصبی"، *انرژی ایران*، دورهٔ ۱۶، شماره ۴، ۱۳۹۲.

[۱۰] منهاج، باقر. *شبکه‌های عصبی مصنوعی*، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۷.

[۱۱] البرزی، محمود، *آشنایی با شبکه عصبی مصنوعی*، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

پی‌نوشت

1. Process & Instrumentation Diagram
2. hidden layer
3. Mean Squared Error
4. Correlation Coefficient
5. validation
6. test
7. training

نام	فلزات استراتژیک
نوشته	فرزاد تعویذی
ناشر	مؤسسهٔ انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف
سال	۱۳۹۴
تعداد صفحات	۲۱۸
شمارگان	۱۰۰۰
قیمت	۱۲۰۰۰ تومان
تلفن تماس	۰۲۱۶۶۰۱۳۱۲۹ - ۰۲۱۶۶۱۶۴۰۷۰