دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان

بررسی تئوری و تجربی تاثیر استفاده از نانوسیالات بر بازده حرارتی و الکتریکی سیستم‌های فتوولتاییک–حرارتی

استاد راهنما

دکتر امین‌رضا نقره‌آبادی

استاد مشاور اول

دکتر ابراهیم حاجی دولو

استاد مشاور دوم

دکتر علیمراد رشیدی

نگارنده

علی اسماعیلی نسب

شهریور ۱۳۹۳

اهدانامه

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی مادر دلسوز و مهربانم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

قدردانی

به نام خالق

با عرض سپاس بسیار به اساتید محترم گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز که در طول انجام پروژه با یاری و همفکری خود بستری شایسته فراهم آورده تا این محقق نوپا با خاطری آسوده به سرانجام خود امیدوار باشد.

در اینجا شایسته است تا از راهنمایی‌های موثر استاد فرهیخته جناب آقای دکتر امین‌رضا نقره‌آبادی نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم که بی‌تردید بدون مساعدت‌ها و دلگرمی‌های ایشان پیمودن این مسیر بسیار دشوار می‌نمود. همچنین از استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر ابراهیم حاجی‌دولو کمال قدردانی را دارم.

فهرست مطالب

قدردانی..... ت

فهرست مطالب..... ث

فهرست شکل‌ها..... خ

فهرست جدول‌ها..... ر

علائم انگلیسی..... س

حروف یونانی..... ش

زیرنویس‌ها..... ص

اختصارات..... ض

چکیده..... ز

مقدمه..... ۱

۱-۱ مقدمه..... ۱

۱-۲ اهمیت موضوع و لزوم اجرای طرح..... ۲

۱-۳ منابع انرژی..... ۳

۱-۳-۱ منابع انرژی تجدیدپذیر..... ۳

۱-٤ جایگاه انرژی خورشیدی..... ٤

۱-۵ کاربردهای انرژی خورشید..... ۵

۱-۵-۱ استفاده از انرژی حرارتی خورشید..... ۵

❖ کاربردهای غیر نیروگاهی..... ٦

۱-٦ سیستم‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی..... ٦

۱-۷ مصارف و کاربردهای فتوولتاییک..... ۷

❖ روشنایی خورشیدی..... ۷

❖ سیستم تغذیه‌کننده یک واحد مسکونی..... ۷

❖ سیستم پمپاژ خورشیدی..... ۸

❖ نیروگاه‌های فتوولتاییک..... ۸

❖ یخچال‌های خورشیدی..... ۹
❖ سیستم تغذیه‌کننده قابل حمل..... ۹
❖ سیستم‌های فتوولتاییک- معرفی سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی..... ۱۰
۱-۷-۱ گردآورهای فتوولتائیک-حرارتی با سیال خنک‌کن مایع..... ۱۳
۱-۸ محیط جدید انتقال حرارت..... ۱٤
۱-۸-۱ مزایای استفاده از نانوسیالات..... ۱٦
❖ بهبود انتقال حرارت پایداری..... ۱۷
۱-۹ ساختار پایان‌نامه..... ۱۸
مروری بر پژوهش‌های پیشین..... ۱۹
۲-۱ مقدمه..... ۱۹
۲-۲ بررسی تحقیقات تئوری و تجربی انجام شده در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک-حرارتی با سیال عامل مایع..... ۱۹
۲-۳ ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات..... ۲۳
۲-۳-۱ عوامل موثر بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات..... ۲۳
۲-٤ بررسی پژوهشهای انجام شده در زمینه استفاده از نانوسیالات در سیستم‌های خورشیدی..... ۲۵
۲-۵ لزوم انجام پژوهش حاضر..... ۲٦
مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایش و تحقیق..... ۲۷
۳-۱ مقدمه..... ۲۷
۳-۲ توصیف دستگاه..... ۲۷
۳-۳ روش انجام آزمایش‌ها..... ۳۱
۳-٤ تجهیزات مورد استفاده برای تست‌گیری..... ۳۳
۳-۵ مواد و تجهیزات مورد استفاده برای تهیه نانوسیال..... ۳٦
۳-٦ تجزیه و تحلیل عدم قطعیت..... ٤۰
۳-٦-۱ عدم قطعیت بازده حرارتی..... ٤۲
۳-٦-۲ عدم قطعیت بازده الکتریکی..... ٤۳
ارائه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی..... ٤٤
٤-۱ تست سیال خالص..... ٤٦

٤-٢ آزمایش با سیال عامل نانوسیال..... ٤٨
٤-٢-١ عملکرد حرارتی..... ٤٨
٤-٢-٢ عملکرد الکتریکی..... ٥٢
مدلسازی سیستم فتوولتاییک-حرارتی ساخته شده و روابط محاسباتی..... ٦٢
٥-١ مقدمه..... ٦٢
٥-٢ مدلسازی سیستم ساخته شده..... ٦٣
٥-٢-١ پوشش شیشه‌ای (g)..... ٦٣
٥-٢-٢ صفحه فتوولتاییک (pv)..... ٦٤
٥-٢-٣ صفحه جاذب (p)..... ٦٦
٥-٢-٤ لوله‌ها (t)..... ٦٦
٥-٢-٥ سیال عامل (f)..... ٦٧
٥-٢-٦ لایه عایق (i)..... ٦٧
٥-٢-٧ لایه نگهدارنده گالوانیزه (ga)..... ٦٨
٥-٢-٨ آب درون مخزن ذخیره (tk)..... ٦٨
٥-٣ محاسبه ضرایب انتقال حرارت..... ٦٩
٥-٤ روابط محاسباتی برای تعیین خواص ترموفیزیکی نانوسیال..... ٧٢
٥-٤-١ محاسبه گرانروی نانوسیال..... ٧٣
٥-٤-٢ محاسبه ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ٧٣
٥-٤-٣ محاسبه چگالی نانوسیال..... ٧٣
٥-٤-٤ محاسبه ظرفیت حرارتی نانوسیال..... ٧٤
٥-٥ خواص ترموفیزیکی سیال پایه (آب خالص-دوبار یونیزه شده)..... ٧٤
٥-٦ حل معادلات حاکم بر سیستم فتوولتاییک-حرارتی ساخته شده و اعتبارسنجی آن‌ها..... ٧٤
نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ٨١
٦-١ نتیجه‌گیری‌ها..... ٨١
٦-٢ پیشنهادها..... ٨٣

فهرست شکل‌ها

شکل ۱– ۱: استفاده از پنل‌های فتوولتاییک در منازل مسکونی [۳] ۷

شکل ۱– ۲: نمونه‌ای از پنل‌های فتوولتاییک استفاده‌شده در سیستم پمپاژ [۳] ۸

شکل ۱– ۳: نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک ٤٠ مگاواتی والدپولنز آلمان [۳] ۹

شکل ۱– ٤: یک نمونه از سیستم‌های فتوولتاییک–حرارتی با خنک‌کننده مایع [۸] ١٤

شکل ۳– ۱: محل ورود و خروج آب مصرفی شهری (مخزن ذخیره) ۲۸

شکل ۳– ۲: خمیر سیلیکون استفاده شده ۲۹

شکل ۳–۳ : نمای انفجاری اجزاء موجود در قاب آلومینیومی ۱) قاب آلومینیومی ۲) شیشه ۳) زیوار نگهدارنده شیشه ٤) پنل خورشیدی ٥) صفحه جاذب مسی ٦) لوله‌های مسی ۷) عایق پشم شیشه ۸) صفحه نگهدارنده گالوانیزه ۳۰

شکل ۳– ٤: سیستم فتوولتاییک–حرارتی ساخته شده در حال تست‌گیری ۳۰

شکل ۳– ٥: شکل شماتیک سیستم فتوولتاییک–حرارتی ساخته شده ۳۱

شکل ۳– ٦: سولارمتر مورد استفاده جهت اندازه‌گیری تابش ۳۳

شکل ۳– ۷: ترمومترهای مورد استفاده جهت اندازه‌گیری و ثبت دماها ۳٤

شکل ۳– ۸: روتامتر شیشه‌ای مورد استفاده ۳٤

شکل ۳– ۹: مولتی‌متر مورد استفاده جهت اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ۳٥

شکل ۳– ۱۰: شارژ کنترلر PWM مورد استفاده در سیستم فتوولتاییک–حرارتی ۳٥

شکل ۳– ۱۱: پمپ آکواریوم جهت گردش سیال عامل ۳٦

شکل ۳– ۱۲: ترازوهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری نانوذرات و سیال پایه ۳۷

شکل ۳– ۱۳: الف) دستگاه همزن مکانیکی ب) دستگاه همگن‌ساز استفاده شده ۳۸

شکل ۳–:١٤ تصویر TEM نانوذره‌های SiO_2 با قطر نانوذرات 14-11 نانومتر استفاده شده درون سیال عامل نانوسیال ۳۸

شکل ۳– ۱٥: تصاویر TEM نانوذره‌های SiO_2 با قطر نانوذرات ٦٠–۷٠ نانومتراستفاده شده درون سیال عامل نانوسیال ۳۹

شکل ۳– ١٦: دستگاه عکسبرداری TEM ٤٠

شکل ٤– ۱: تغییرات دمایی اجزاء مختلف سیستم فتوولتاییک–حرارتی ٤٥

شکل ٤- ٢: تغییرات دمای هوا و میزام تابش خورشیدی در یک روز آزمایش..... ٤٥
شکل ٤- ٣: بازده حرارتی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش آب خالص در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠، ٧٠ و ٤٦٩٠
شکل ٤- ٤: بازده الکتریکی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش آب خالص در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠، ٧٠ و ٩٠
..... ٤٦
شکل ٤- ٥: تغییرات روزانه دمای صفحه فتوولتاییک با تغییر دبی مصرفی آب شهری ٤٧
شکل ٤- ٦: بازده حرارتی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ١٤-١١ نانومتر و درصد جرمی ٪ ١ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٤٩
شکل ٤- ٧: بازده حرارتی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ١٤-١١ نانومتر و درصد جرمی ٪ ٣ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٤٩
شکل ٤- ٨: بازده حرارتی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ٧٠-٦٠ نانومتر و درصد جرمی ٪ ١ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٥١
شکل ٤- ٩: بازده حرارتی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ٧٠-٦٠ نانومتر و درصد جرمی ٪ ٣ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٥١
شکل ٤- ١٠: بازده الکتریکی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ١٤-١١ نانومتر و درصد جرمی ٪ ١ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٥٣
شکل ٤- ١١: بازده الکتریکی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ١٤-١١ نانومتر و درصد جرمی ٪ ٣ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٥٣
شکل ٤- ١٢: بازده الکتریکی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ٧٠-٦٠ نانومتر و درصد جرمی ٪ ١ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٥٥
شکل ٤- ١٣: بازده الکتریکی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای آزمایش نانوسیال SiO_2 با قطر ذرات ٧٠-٦٠ نانومتر و درصد جرمی ٪ ٣ wt در دبی‌های مصرف آب شهری ٤٠، ٥٠ و ٧٠..... ٥٥
شکل ٤- ١٤: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای بین تمامی حالت‌های آزمایش سیستم فتوولتاییک-حرارتی..... ٥٨
شکل ٤- ١٥: عملکرد کلی میانگین سیستم فتوولتاییک-حرارتی با سیال‌های عامل مختلف..... ٥٨
شکل ٤- ١٦: مقایسه بازده الکتریکی آزمایش‌های سیستم فتوولتاییک-حرارتی با حالت آزمایش سیستم بدون اجزاء حرارتی(پنل خورشیدی منفرد) و حالت بدون برداشت آب از مخزن ذخیره(Q=0) ٥٩

شکل ٥- ١: نمودار مقایسه داده های اندازه‌گیری شده تجربی با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای حالت سیال عامل آب دیونیزه شده و میزان مصرف آب شهری ٤٠ لیتر بر ساعت ٧٦

شکل ۵– ۲: دماهای اندازه‌گیری شده و پیشبینی شده در حالت سیال عامل آب دیونیزه شده ۷۷
شکل ۵– ۳: تاثیر میزان آب مصرفی شهری بر دمای صفحه فتوولتاییک در حالت استفاده از سیال عامل آب دیونیزه شده..... ۷۷
شکل ۵– ٤: نتایج شبیه‌سازی تغییرات بازده الکتریکی سیستم فتوولتاییک–حرارتی با تغییر دبی مصرفی آب شهری..... ۷۸
شکل ۵– ۵: نمودار مقایسه داده های اندازه‌گیری شده تجربی با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سیستم فتوولتاییک–حرارتی برای حالت سیال عامل نانوسیال ٪WT ۳ و میزان مصرف آب شهری ٤۰ لیتر بر ساعت ۷۸
شکل ۵– ٦: دماهای اندازه‌گیری شده و پیشبینی شده در حالت سیال عامل نانوسیال SiO_2/WATER..... ۷۹
شکل ۵– ۷: نتایج تئوری تاثیر استفاده از نانوسیال SiO_2 بر تغییرات دمای صفحه فتوولتاییک..... ۸۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: کاربردهای انواع سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی در شرایط مختلف آب و هوایی..... ۱۲

جدول ۱-۲: مقادیر هدایت حرارتی مواد مختلف [۱۲]..... ۱۶

جدول ۳- ۱: شرایط نصب سیستم فتوولتاییک-حرارتی ساخته شده ۳۱

جدول ۳- ۲: مشخصات نانوذره‌های استفاده شده..... ۳۶

جدول ٤- ۱: جدول بازده حرارتی و الکتریکی سیستم فتوولتاییک-حرارتی در حالت‌های آزمایش مختلف..... ۵۷

چکیده

نام خانوادگی : **اسماعیلی نسب**	نام: **علی**	شماره دانشجویی : **۹۰۲٤۸۰۱**
عنوان پایان‌نامه : **بررسی تئوری و تجربی تاثیر استفاده از نانوسیالات بر بازده حرارتی و الکتریکی سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی**		
استاد/ اساتیدراهنما: **دکتر امین‌رضا نقره‌آبادی**		
استاد/ اساتید مشاور: **دکتر ابراهیم حاجی‌دولو- دکتر علیمراد رشیدی**		
درجه تحصیلی: **کارشناسی ارشد**	رشته: **مهندسی مکانیک**	گرایش: **تبدیل انرژی**
دانشگاه : **شهید چمران اهواز**	دانشکده: **مهندسی**	گروه : **مکانیک**
تاریخ فارغ‌التحصیلی: **۱۳۹۳/۰٦/۳۱**		تعداد صفحه:
کلید واژه‌ها : **نانوسیالات، سیستم فتوولتاییک‌حرارتی، بازده حرارتی، بازده الکتریکی، نانوذراتSiO_2 ، قطر نانوذرات**		

به تجهیزاتی که انرژی تابشی خورشیدی را به صورت مستقیم به الکتریسیته تبدیل می کنند، سلول خورشیدی یا سلول فتوولتاییک گفته می شود. بازده تبدیل انرژی پایین اینگونه سلول ها باعث تولید انرژی حرارتی بیش از حد در این سلول ها و باعث بالا رفتن دمای آن‌ها خواهد شد. یکی از مشکلات اساسی این سلول‌ها، کاهش بازده الکتریکی با افزایش دما می‌باشد. بنابراین سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی با اضافه کردن تجهیزات حرارتی به سلول خورشیدی به عنوان یکی از راه حل های رفع مشکل افزایش دمای سلول های خورشیدی مطرح شده است. در این پژوهش برای بررسی عملکرد حرارتی و الکتریکی سیستم های فتوولتاییک-حرارتی، یک دستگاه فتوولتاییک-حرارتی طراحی و ساخته شده است. دستگاه ساخته شده شامل یک پنل خورشیدی و دومبدل حرارتی که یکی در زیر پنل خورشیدی و یکی درون مخزن ذخیره آب گرم قرار داده شده‌اند، می‌باشد. سیال عامل خنک‌کن به صورت اجباری بین دو مبدل حرارتی مذکور در یک سیکل حلقه بسته در جریان است. مخزن ذخیره آب گرم به صورت مستقیم به آب شهری متصل می باشد. در این پژوهش جهت بررسی عملکرد حرارتی و الکتریکی سیستم ساخته شده از آب نانوسیال SiO_2 استفاده شد. در این پژوهش نانوسیال‌های (SiO_2/DIO water) با درصدهای جرمی نانوذرات ٪ wt ۱ و ٪ wt ۳ و با قطرهای متفاوت ۱۱-۱٤ نانومتر و ٦۰-۷۰ نانومتر به عنوان نانوسیال مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها با سیال عامل نانوسیال (SiO_2/DIOwater) نشان می‌دهد با افزایش درصد جرمی نانوذرات از ٪ wt ۱ به ٪ wt ۳ درون سیال پایه، عملکرد کلی سیستم فتوولتاییک-حرارتی برای اندازه نانوذرات ۱۱-۱٤ و ٦۰-۷۰ نانومتر به ترتیب به میزان ٪ ۲/۳٦ و ٪۲/۲۰ بهبود یافته است. همچنین با استفاده از نانوسیال با درصد جرمی ۳ درصد و قطر نانوذرات ۱۱-۱٤ نانومتر نسبت به سیال پایه عملکرد کلی به میزان٪ ۷/۷٦ بهبود یافته است. نتایج ارائه شده نشان دادند که با افزایش قطر متوسط نانوذرات درون سیال پایه، عملکرد کلی سیستم کاهش یافته است.

علائم انگلیسی

سطح گردآور فتوولتاییک-حرارتی	A_c
زاویه گردآور	B
ظرفیت گرمایی ویژه	C_p
قطر	D
توان الکتریکی خروجی	E
سیال درون سیکل خنک کن	f
ضریب پرکنندگی	FF
ضریب برداشت حرارتی گردآور	F_R
میزان تابش ورودی	G
عدد گراشف	Gr
ضریب انتقال حرارت جابجایی	h
جریان نقطه حداکثر توان	I
ضریب هدایت حرارتی	k
طول لوله	L
دبی جرمی سیال عامل	$\dot{m}$
عدد ناسلت	Nu
ضریب شکست	N_v
ضریب فشردگی	PF

ضریب انعکاس	r
دما	T
دمای کاهش یافته	T^*
ضریب اتلاف حرارت گردآور	U_L
ولتاژ نقطه بیشینه توان	V
سرعت باد	V_{wind}

حروف یونانی

ضریب عبور	α
زاویه انحراف گردآور	β
ضریب انبساط حرارتی	β_T
زاویه انحراف	δ
ضریب انتشار	ε
درصد حجمی نانو ذرات	ϕ
عرض جغرافیایی	ϕ_l
ضریب دمایی صفحه فتوولتاییک	φ_c
زاویه با شمال جغرافیایی	γ
بازده گردآور فتوولتاییک-حرارتی	η
ضریب استهلاک نوری	λ
لزجت سینماتیک سیال	μ

زاویه میان تابش خورشید وسطح شیشه	θ_1
چگالی	ρ
ثابت استفان بولتزمان	σ
ضریب جذب	τ
ضریب تاو آلفای گردآور	$\tau\alpha$
زاویه ساعت خورشیدی	ω

زیرنویس‌ها

لایه چسب	ad
سیال پایه	bf
ضریب انتقال حرارت هدایتی	cd
ضریب انتقال حرارتی جابجایی	cv
بخش الکتریکی	el
سیال عامل در وسط گردآور	w1
سیال عامل در ورودی به گردآور	w0
سیال عامل در خروجی از گردآور	w2
شیشه	g
صفحه گالوانیزه	ga
لایه عایق	i
نانوسیال	nf
صفحه جاذب	p

انرژی اولیه(primary energy)	pr
صفحه فتوولتاییک	pv
لوله	t
بخش حرارتی	th
لایه قلع	tin
مخزن ذخیره	tk
نانوذرات	s
ضریب انتقال حرارت تشعشعی	r

اختصارات

فتوولتاییک–حرارتی	PVT
میکروسکوپ الکترونی عبوری	TEM
میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ	SEM

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

اهمیت و نقش انتقال حرارت در علوم مهندسی بر هیچ‌کس پوشیده نیست؛ بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع تلاش‌های بسیاری برای ساخت دستگاه‌ها و ابداع روش‌هایی صورت گرفته که صرفه‌جویی در مصرف سوخت، انرژی و مواد اولیه از اهداف آن به شمار می‌رود. نتیجه این فعالیت‌ها بهبود روش‌هایی برای رسیدن به انتقال حرارت بهتر می‌باشد.

کاربرد وسیع انتقال حرارت در صنایع گوناگون موجب شده که افزایش راندمان دستگاه‌های حرارتی یکی از مهم‌ترین مسائل پیش‌روی طراحان و واحدهای صنعتی قرار گیرد. بهینه‌سازی تجهیزات انتقال حرارت جهت رسیدن به راندمان بالاتر انرژی موجب شده است که تجهیزات انتقال حرارت کوچک شده و به ازای واحد سطح، میزان انتقال حرارت افزایش یابد. سیالاتی مانند آب، روغن و اتیلن گلیکول نقش زیادی در فرایندهای تولید نیرو، انتقال انرژی، فرایندهای شیمیایی و فرایندهای سرمایش و گرمایش بر عهده دارند. از جمله

دستگاه‌هایی که با جریان سیالات و انتقال حرارت مرتبط هستند؛ می‌توان به تهویه مطبوع ساختمان‌ها، مبدل‌های حرارتی، دستگاه‌های آب‌گرم‌کن خورشیدی و سیستم‌های فتوولتاییک‌حرارتی اشاره نمود.

تلاشهای پژوهشگران در سال‌های اخیر جهت افزایش انتقال حرارت به ابداع روش‌های مختلف منجر شده است. خواص ضعیف انتقال حرارت سیالات متداول، نخستین مانع جدی در فشرده‌سازی و کارآمدی مبدل‌های حرارتی است. پیشرفت در فناوری نانو در دو دهه اخیر و استفاده از نانوسیال به عنوان عامل انتقال حرارت روش جدیدی را پیش‌روی محققان قرار داده است. در سال‌های اخیر بررسی‌های گسترده‌ای جهت بهبود عملکرد حرارتی مبردهای مایع در جهان صورت گرفته که نتیجه آن‌ها نسل جدیدی از مبردها به نام نانوسیالات می‌باشد. این نوع سیالات به دلیل بهبود ضرایب انتقال حرارت راندمان حرارتی سیستم‌های مختلف را افزایش می‌دهند. از جمله سیستم‌هایی که عملکرد آن‌ها به‌طور مستقیم به رفتار حرارتی سیال عامل بستگی دارد، سیستم‌های فتوولتاییک‌حرارتی است. در این‌گونه سیستم‌ها معمولا سیال عامل مورد استفاده برای خنک‌کاری، آب می‌باشد؛ بنابراین با توجه به محدود بودن ضرایب انتقال حرارت آب انتظار می‌رود استفاده از نانوسیالات به عنوان سیال عامل این سیستم‌ها، راندمان حرارتی و الکتریکی را بهبود بخشیده و میزان انرژی حرارتی و الکتریکی خروجی آن‌ها را افزایش دهد.

۱-۲ اهمیت موضوع و لزوم اجرای طرح

استفاده از نانوسیالات به عنوان سیال عامل در سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی[۱] باعث بهبود انتقال حرارت و کاهش دمای صفحات فتوولتاییک می‌شود. همچنین با توجه به محدودیت میزان بازده الکتریکی صفحات فتوولتاییک و تاثیر مخربی که از افزایش دما می‌پذیرند، امید است که استفاده از نانوسیالات جهت خنک‌کاری این صفحات باعث بهبود راندمان الکتریکی و همچنین افزایش حرارت خروجی شود. با افزایش بازده حرارتی در یک سطح معین میزان انتقال حرارت، افزایش یافته و می‌توان مبدل‌های حرارتی بکار رفته در این سیستم‌ها را کوچک‌تر کرده و با کاهش وزن سیستم ساخته شده، هزینه ساخت و تولید آن‌ها را کاهش داد. میزان انتقال حرارت سیال عامل در سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی از مهم‌ترین پارامترها بوده و به‌طور مستقیم بر میزان

۱ Photovoltaic thermal system

بازده حرارتی و الکتریکی خروجی تاثیر دارد؛ بنابراین در این پژوهش تلاش شـده اسـت تا با بررسـی تئوری و تجربی سـیسـتم فتوولتاییک حرارتی ساخته شده، میزان بهبود انتقال حرارت و اثربخشی نانوسیالات را به عنوان سیال عامل تحقیق نمود.

۱-۳ منابع انرژی

به‌طور کلی منابع انرژی را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی کرد:

- منابع انرژی تجدیدپذیر که در آن‌ها انرژی از جریان پیوسـته انرژی که در محیط زیسـت به طور طبیعی در حـال وقوع می باشـد، بدسـت می‌آید. نمونه‌هایی از این نوع انرژی را می‌توان انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین‌گرمایی، جزر و مد دریا و زیست‌توده دانست.
- منابع انرژی تجدید ناپذیر که در آن‌ها انرژی تنها می‌تواند با دخالت بشـر آزاد شـود و پیش از آن به‌صورت ذخیره است. انرژی‌های هسته‌ای و سوخت‌های فسیلی در این گروه قرار می‌گیرند.

۱-۳-۱ منابع انرژی تجدیدپذیر

- انرژی باد: انرژی جنبشـی باد در مناطق دارای سـرعت کافی و دائمی در طول سال می‌تواند برای به چرخش درآوردن پره‌هـای توربین‌هـای بـادی بـه کار رفته و به کمک انرژی مکانیکی در پره‌های توربین ژنراتورهای برق را هر چند با توان بسیار کم تولید نمایند.

- انرژی خورشـید: می‌توان با اسـتفاده از انرژی خورشـید با به‌کارگیری روش‌های مختلف برق تولید نمود. این روش‌ها اسـتفاده از سـلول‌های خورشـیدی حسـاس به نور و تولید جریان الکتریکی و همچنین استفاده از سلول‌های حساس به حرارت و تولید برق از گرمای خورشید می‌باشند.

- زمین‌گرمایی: در مناطقی که خاصـیت آتشـفشـانی داشـته و یا دارند به دلیل گرم بودن سـطح زمین، آب‌های زیرزمینی موجود در منطقه گرم بوده و از این آب گرم می‌توان در نیروگاه‌های بخار اسـتفاده نمود.

- انرژی زیســت‌توده[1]: این انرژی از زمان‌های دور مورد اســتفاده بوده و از سوزاندن مواد آلی موجود در پس‌ماندهای محصولات کشاورزی برای تولید انرژی و حرارت به دست می‌آید.

- انرژی دریا و اقیانوس: از آب جاری رودخانه‌ها می‌توان برای به حرکت درآوردن توربین‌ها استفاده کرد و انرژی الکتریکی را از ژنراتور متصل به توربین به دست آورد.

منابع انرژی تجدیدپذیر دارای مزایای بی‌شــماری هســتند که از آن جمله می‌توان به قابلیت تجدید پذیری، عدم آلودگی محیط زیست، رایگان بودن و در دسترس بودن اشاره کرد.

همانند تمامی طرح‌های مهندســی دیگر اســتفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در کنار مزایای بی‌شــمار، دارای معایب و محدودیت‌هایی نیز هســتند که مهم‌ترین آن‌ها هزینه‌های سرمایه‌گذاری زیاد و محدودیت‌های زمانی و مکانی می‌باشد.

۱-٤ جایگاه انرژی خورشیدی

خورشید به عنوان یک منبع بی‌پایان انرژی می‌تواند حلال مشکلات موجود در مورد انرژی و محیط زیست باشــد. خورشــید باارزش‌ترین منبع انرژی اســت که کره زمین در اختیار دارد و در حقیقت یک کوره اتمی با واکنش همجوشــی اســت. خورشــید از گازهای گوناگونی تشــکیل شــده است و واکنش‌های مختلفی درون آن انجام می‌شــود که مهم‌ترین آن‌ها تولید هلیم از هیدروژن اســت. اختلاف وزن حاصــل از این واکنش و واکنش‌های مشــابه طبق قانون انیشــتین به صــورت انرژی از خورشــید خارج می‌گردد؛ لذا کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی برای مصارف بزرگ از امیدهای آینده است. مهار کردن و استفاده از چنین منبع انرژی مستلزم شناخت و آگاهی از کمیت و ماهیت آن، نوسانات و عوامل مؤثر در شدت تشعشعات تابیده شــده در هر محل اســت. اشکال بزرگ در کاربرد انرژی خورشیدی، متمرکز نبودن، تناوبی بودن و ثابت نبودن مقدار تشــعشــع می‌باشــد که اگر بتوانیم ابزاری ارزان جهت متمرکز کردن آن بسازیم، به‌طوری که نوسانات آن تأثیر زیادی بر روی آن نگذارد، به یک منبع انرژی بســیار بزرگ دست یافته‌ایم که تا قرن‌ها می‌تواند تأمین‌کننده نیاز انرژی بشــر باشد. با توجه به وضع انرژی، رشد جمعیت و مصرف در جهان، اگر به طور هوشمندانه رفتار

---

۱ Bio mass