نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی

J. Energy Conversion (JEED)
Volume: 12, Issue:1, 2025: 75-91

دوره ۱۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص: ۹۱-۷۵

# بررسی تجربی اثربخشی نانوذرات هیبریدی $TiO_2/SiC$ بر روی عملکرد انتقال حرارت مایع خنک‌کننده رادیاتور خودرو

**حسن امیراحمدی[۱]، محمدحسن نوبختی [۲و*]، احمد فلیح غافل الحمیدی[۳]**

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران، hasan.amirahmadi@srbiau.ac.ir
۲*- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران، m.nobakhti@srbiau.ac.ir
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران، Ahmed.fafa01@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۷ ، بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۲۹ ، پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۹

## چکیده

در این مقاله یک نانو سیال جدید مبتنی بر نانوذرات هیبریدی برای خنک‌کاری رادیاتور موتورهای احتراق داخلی سنتز شد. نانوذرات تیتانیوم‌اکسید ($TiO_2$) وسیلیسیم‌کاربید (SiC) که در چهار غلظت متفاوت و ترکیبی ۱، ۲، ۳ و ۴٪ جرمی در سیال پایه اتیلن‌گلیکول، در ۴ دمای ورودی به رادیاتور در حالت‌های ۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۵ درجه‌سانتی‌گراد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. مجموع غلظت جرمی نانوذرات هیبریدی در سیال پایه ۵٪ بود. به‌منظور پیاده سازی شرایط سیستم خنک‌کاری یک موتور احتراق داخلی، یک مجموعه بستر آزمایشی شامل پمپ، رادیاتور، بویلر، لوله‌های ارتباطی، دماسنج و... آماده‌سازی شد و این مجموعه آزمایشی پس از کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری، آزمایش‌ها در ۵ حالت مختلف شامل، سیال پایه و ۴ نانو سیال هیبریدی در درصدهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و دمای سیال ورودی و خروجی به رادیاتور در هر آزمایش ثبت شد. بررسی نتایج نشان داد، که با افزوده شدن نانوذرات به سیال پایه، چگالی و ویسکوزیته نانوسیال افزایش می‌یابد. دمای انجماد در حالت $4\%TiO_2+1\%SiC$ کاهش ۴/۴ درجه‌سانتی‌گرادی را نسبت به حالت پایه را نشان می‌دهد و تا ۴۱/۴- کاهش را تجربه می‌کند. همچنین در خصوص نقطه دمای جوشش در حالت $2\%TiO_2+3\%SiC$ دما مقدار ۹/۴ افزایش را نسبت به حالت سیال پایه را نشان می‌دهد، که این افزایش منجر به دمای ۱۱۸/۴ خواهد شد. در نهایت کاربرد نانو سیالات در سیستم خنک‌کاری موتور نشان داد، که بهترین عملکرد متعلق به نانو سیال هیبریدی با $3\%TiO_2+2\%SiC$ است، که نتایج نشان داد، عدد ناسلت درکلیه حالت‌های نانوسیال هیبریدی با $3\%TiO_2+2\%SiC$ تقریبا ۲۰ درصد افزایش نسبت به حالت پایه (فقط اتیلن گلیکول) را در پی خواهد داشت.

* **عهده‌دار مکاتبات:** m.nobakhti@srbiau.ac.ir

**کلمات کلیدی:** نانوسیال، هیبریدی، اتیلن گلیکول، خنک‌کاری، رادیاتور

**نحوه استناد به این مقاله** حسن امیراحمدی، محمدحسن نوبختی، احمد فلیح غافل الحمیدی. بررسی تجربی اثربخشی نانوذرات هیبریدی $TiO_2/SiC$ بر روی عملکرد انتقال حرارت مایع خنک‌کننده رادیاتور خودرو. **مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۴؛ ۱۲ (۱) : ۹۱-۷۵.**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

## ۱- مقدمه

افزایش راندمان و بهبود مصرف انرژی به‌ویژه در مبدل‌های حرارتی یکی از موضوعاتی است که همواره موردتوجه محققین بوده است. راه‌حل‌های معمول و متداول در افزایش بهره‌وری مبدل‌های حرارتی، افزایش سطح مبدل یا تغییر سیال حامل گرما است. افزایش اندازه مبدل سبب افزایش هزینه‌ها و سنگین شدن دستگاه می‌شود، که مطلوب نبوده اما یکی از بهترین راه‌حل‌های افزایش عملکرد مبدل حرارتی، تغییر نوع سیال پایه برای افزایش میزان انتقال حرارت است [۱]. از این‌رو تحقیقات زیادی جهت جایگزین کردن سیال حامل گرما در مبدل انجام شده است. یکی از این روش‌ها کاربرد نانوتکنولوژی در مبدل‌های حرارتی است. ذرات فلزی و غیرفلزی در ابعاد نانومتر می‌توانند با افزوده‌شدن به سیال ضریب انتقال حرارت سیال پایه را افزایش دهند. هم‌چنین فلزاتی نظیر آلومینیوم، مس، سریم، تیتانیوم و... دارای خواص هدایت حرارتی زیادی در مقایسه با سیالات متداول هستند. لذا با پخش کردن این فلزات در مقیاس نانو در سیالات، می‌توان یک نانوسیال با خواص هدایت حرارتی بالا ایجاد کرد [۲]. نانوسیالات محیط جدیدی از انتقال حرارت را ایجاد می‌کنند که به‌طورکلی از سوسپانسیون ذرات معمولاً فلزی در ابعاد نانو در سیال پایه تشکیل می‌شوند [۴،۳] . عوامل زیادی از قبیل سرعت جریان نانوسیال ورودی به مبدل، نوع نانوذرات، غلظت نانوذره در سیال پایه، اندازه نانوذره، دمای نانوسیال، سیال پایه و عوامل خارجی (از قبیل نیروی مغناطیس، همگن‌سازی و ...) بر خواص ترموفیزیکی نانوسیال موثر خواهد بود [۵].

در زمینه طراحی خودرو، محققان توجه زیادی به بهینه‌سازی سیستم خنک‌کاری خودروها دارند که علاوه بر کاهش هزینه‌های تمام شده خودرو سبب افزایش بازدهی سیستم خنک‌کاری موتور گردد و در صورتی‌که سیال خنک‌کننده موتور بتواند گرمای تولیدشده در موتور را سریع‌تر جذب کند و سبب تسریع در خنک‌کاری موتور شود، می‌توان موتور اتومبیل را با قدرت بیش‌تر و با رادیاتور در ابعاد کوچک‌تر طراحی نمود و ساخت [۶]. هریس و همکاران [۷] در تحقیقی درباره اندازه‌گیری انتقال حرارت همرفتی با استفاده از نانوسیال $Al_2O_3$/آب، در درصدهای مختلف غلظت نانوذراتی، ضریب انتقال حرارت را بررسی نمودند. سیراج و همکاران [۸] بهبود عملکردی رادیاتور خودرو را با نانوسیال $TiO_2$/آب را بررسی نمودند. آزمایش‌هایی با استفاده از نانوسیال $TiO_2$ با غلظت‌های حجمی ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد با دبی ۰/۰۹۷ و ۰/۶۸ متر مکعب در ساعت در ناحیه جریان آرام، که در آن عدد رینولدز[1] از ۵۶۰ تا ۱۶۵۰ متغیر بود، انجام شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود، که ضریب اصطکاک با افزایش عدد رینولدز و غلظت حجمی کاهش می‌یابد. علاوه‌براین، بهترین عملکرد برای نانوسیال $TiO_2$/آب با غلظت ۰/۲درصد بود که می‌تواند کارایی رادیاتور خودرو را تا ۳۷درصد در مقایسه با غلظت آب خالص به عنوان خنک‌کننده افزایش دهد. دورماز و همکاران [۹] با استفاده از نانوذرات $Al_2O_3$ در سیال پایه اتیلن‌گلیکول میزان خنک‌کنندگی رادیاتور تا ۱۷/۴۶درصد نسبت به حالت استفاده از حالت فقط اتیلن‌گلیکول افزایش یافته است.

نانوسیالات هیبریدی به‌عنوان نانوسیالات نوین طبقه‌بندی می‌شوند، که از سوپانسیون دو یا چند نوع نانوذره مختلف در یک سیال پایه یا کامپوزیت‌های هیبریدی تهیه می‌شوند. از نقطه‌نظر صنعتی، نانوسیالات هیبریدی هنوز مراحل تحقیق و توسعه را شامل می‌شوند [۱۰]. نیماگادا و همکار [۱۱] ویژگی‌های انتقال حرارت نانوسیالات هیبریدی ($Al_2O_3$+Ag) را در یک میکروکانال بررسی کرده و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی متوسط بالاتری را مشاهده کردند. رمدان و همکاران [۱۲] در تحقیقی ویژگی‌های انتقال حرارت آب/اتیلن گلیکول مبتنی بر نانوسیال $Al_2O_3$-$TiO_2$-$SiO_2$ را به‌صورت تجربی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و سیال پایه را مخلوط آب/اتیلن گلیکول انتخاب کردند. چهار غلظت مختلف نانوسیال با افزودن ۰/۰۵ تا ۰/۳درصد حجم نانوذرات تهیه شد. آزمایشات با تغییر سرعت جریان مایع خنک‌کننده بین ۲ تا ۱۲ لیتر در دقیقه برای دمای کار ۷۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. کومار و همکاران [۱۳] یک تحلیل حرارتی سیال سه‌بعدی از رادیاتور اتومبیل با اندازه واقعی با پره‌های روکش‌دار و خنک‌کننده‌ی رادیاتور مبتنی بر نانوسیال ارائه کردند. خنک‌کننده پایه شامل ۶۰٪ اتیلن‌گلیکول و ۴۰٪ آب با نانوذرات اکسیدآلومینیوم، اکسیدمس و اکسیدروی بود. اثرات غلظت نانوذرات و سرعت جریان بر انتقال حرارت در این مطالعه بررسی شد.

[1] Reynolds Number



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

فاروخ و همکاران [۱۴] از یک نانوسیال هیبریدی جدید حاوی نانوذرات $Fe_2O_3$-$TiO_2$ (۵۰:۵۰) معلق در سیال پایه آب برای بهبود انتقال حرارت جابه‌جایی در رادیاتور خودروها استفاده شده است. سه غلظت نانوذره هیبریدی شامل ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ درصدحجمی مورد آزمایش قرار گرفت. در این شرایط عملیاتی، عدد ناسلت[۲] به میزان ۲۰/۰۳ درصد افزایش یافت. احمد و همکاران [۱۵] اثرات ناوذرات $ZnO$+$Al_2O_3$/آب برای سیستم رادیاتور خودرو استفاده شدند. کومار و همکار [۱۶] بررسی عملکرد یک رادیاتور خودرو با نانوسیال هیبریدی سه تایی آبی $CuO$-$MgO$-$TiO_2$ را در غلظت‌های حجمی نانوذرات از ٪۰/۱ تا ٪۰/۵را مطالعه کردند. نتایج نشان‌دهنده آن بود که ضریب انتقال حرارت نانوسیال هیبریدی ٪۰/۵حجمی، ۴۶درصد بیش‌تر از سیال پایه بود. دیپش و همکاران [۱۷] با یک مطالعه عددی به تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی شرایط یک رادیاتور ساخته شده از آلومینیوم را نانوسیال‌های هیبریدی مختلف شامل $TiO_2$+$Al_2O_3$ و $TiO_2$+$SiO_2$ در غلظت‌های حجمی مختلف ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۹ درصد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که $Al_2O_3$-$TiO_2$ بالاترین هدایت حرارتی و کاهش دما را تا ۳/۲۶ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با سیال پایه آب را در برخواهد داشت.

در مطالعه تجربی حاضر ترکیب و ادغام دو نانوذره $TiO_2$/SiC در سیال پایه اتیلن‌گلیکول، در درصدهای مختلف ترکیبی به‌منظور بهبود خنک‌کاری در رادیاتور خودرو پراید از بداعت کافی برخوردار است و سعی شده است اثرات این تغییرات بر خواص ترموفیزیکی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱- معادلات حاکم

چنان‌چه در نظر باشد دمای ابتدایی و دمای خروجی استند آزمایش مورد ارزیابی قرار گیرد، به واسطه آن پارامترهایی مانند عدد ناسلت، ضریب انتقال حرارت سیال و ..... به‌دست خواهد آمد. ضرورت ایجاب می‌کند تا برخی از پارامترهای اساسی در علم انتقال حرارت و مکانیک سیالات مرور گردد. پارامتر کسر حجمی نانوسیال نقش مهمی در تعریف پارامترهای این پژوهش دارد و به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود[۱۸]:

$$\phi_v=\frac{mn/\rho n}{\left(\frac{mn}{\rho n}\right)+\left(\frac{mb}{\rho b}\right)} \quad (۱)$$

در رابطه (۱) $m_n$ ،$\rho_n$ به‌ترتیب به جرم نانوذره و چگالی نانوذره تعلق دارد و مربوط به نانوذره می‌باشد و $m_b$، $\rho_b$ به‌ترتیب به جرم سیال پایه و چگالی آن مربوط می‌شود و عبارت $\phi_v$ را با (٪) نمایش می‌دهند که غلظت نانوسیال را مشخص می‌کند.

چگالی نانوسیال نیز با رابطه (۲) تعیین می‌گردد. چگالی نقش مهمی در انتقال حرارت به ویژه از نوع جابه‌جایی طبیعی دارد، زیرا اساس جابجایی طبیعی بر نیروی شناوری ناشی از گرادیان چگالی استوار است[۱۸].

$$\rho_{nf}= (1-\phi)p_{bf}+\phi\rho_n \quad (۲)$$

رابطه Batchlor برای ویسکوزیته نانوسیال به شرح رابطه (۳) به‌کار می‌رود[۱۹].

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1+2.5\phi+6.5\phi^2) \quad (۳)$$

ضریب رسانش گرمایی ($k_f$) بین رادیاتور و سیال خنک‌کننده نیز با رابطه (۴) نشان داده می‌شود. در این رابطه $k_{nf}$ ضریب رسانش گرمایی نانوسیال و $k_b$ ضریب رسانش سیال پایه است و $C_K$ نیز ظرفیت گرمایی نانوذره می‌باشد که به‌راحتی از جداول علم مواد به‌دست می‌آید[۱۸].

$$K_{nf}/k_b= 1+C_k.\phi_v \quad (۴)$$

[۲] Nusselt Number



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

چنانچه پارامتر $\alpha$ به‌صورت رابطه (۵) تعریف شود[۴].

$$\alpha=k_n/k_f \quad (۵)$$

با استفاده از رابطه (۵) و مدل ماکسول رابطه (۶) به‌دست خواهد آمد[۱۸]:

$$K_{nf}/k_b =1+\frac{3(\alpha-1)\phi v}{(\alpha+2)-(\alpha-1)\phi v} \quad (۶)$$

ظرفیت گرمایی ویژه یا به اختصار گرمای ویژه با روابط (۷) و (۸) مشخص می‌شود[۱۹].

$$(\rho C)_{nf}= (1-\phi)(\rho C)_b+\phi(\rho C)_n \quad (۷)$$

$$C_{nf} = (1-\phi)(\rho C)_b+\phi(\rho C)_n\times[(1-\phi)p_{bf}+\phi\rho_n]^{-1} \quad (۸)$$

ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی (h) به‌صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود[۱۸]. با استفاده از مطالعه ادبیات پیشین مشخص گردید که پارامتر h برای نانوسیال به ۴ عامل دانسیته، لزجت، ظرفیت گرمایی ویژه و ضریب رسانش بستگی دارد. a ، b، c، d ضرایب تجربی هستند که با آزمایش‌ها به‌دست می‌آیند.

$$h= k^a \rho^b C_p^c \mu^{-d} \quad (۹)$$

حال چنان‌چه در نظر باشد تا پارامتر h برای یک نانوسیال هیبریدی بررسی شود، می‌بایست از روابط (۱۰) تا (۱۲) بهره برد[۱۹].

$$\rho_{nf}= \rho_{bf}(1-\phi_1) [(1-\phi_1)+\phi_1(\rho_{n1}/\rho_{bf})]+\phi_2\rho_{n2} \quad (۱۰)$$

$$\mu_{nf}= \mu_{bf}/(1-\phi_1)^{2.5}(1-\phi_2)^{2.5} \quad (۱۱)$$

$$(\rho C_P)_{nf}= (\rho C_P)_{bf} (1-\phi_2)[(1-\phi_1)+ \phi_1(\rho C_P)_{n1}/(\rho C_P)_{bf}]+\phi_2(\rho C_P)_{n2} \quad (۱۲)$$

عدد ناسلت، یک عدد بدون بعد می‌باشد که در آن h ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، L طول مشخصه و $k_f$ ضریب رسانش گرمایی سیال می‌باشد، که در روابط (۱۳) و (۱۴) مشاهده می‌شود[۲۸].

$$Nu_L=\frac{hL}{k_f} \quad (۱۳)$$

$$Nu = 0.951 \times Re^{0.173}\times Pr^{0.333} \quad (۱۴)$$

## ۲-۲- مکانیزم آزمایش

نانوسیالات خنک‌کننده باید در یک سیستم مشابه سیستم خنک‌کاری خودرو به گردش درآیند. در شکل (۱) شماتیک این بستر آزمایشگاهی و اجزای اصلی آن، که منطبق بر یک سیستم خنک‌کاری می‌باشد، نشان داده شده است. این مجموعه متشکل از واحدهایی از قبیل؛ رادیاتور یا همان مبدل حرارتی، فن خنک‌کننده، لوله‌های ارتباطی، دماسنج دیجیتال، پمپ گریز از مرکز، مخزن ذخیره آب جوش و المنت‌های گرمکن می‌باشد.

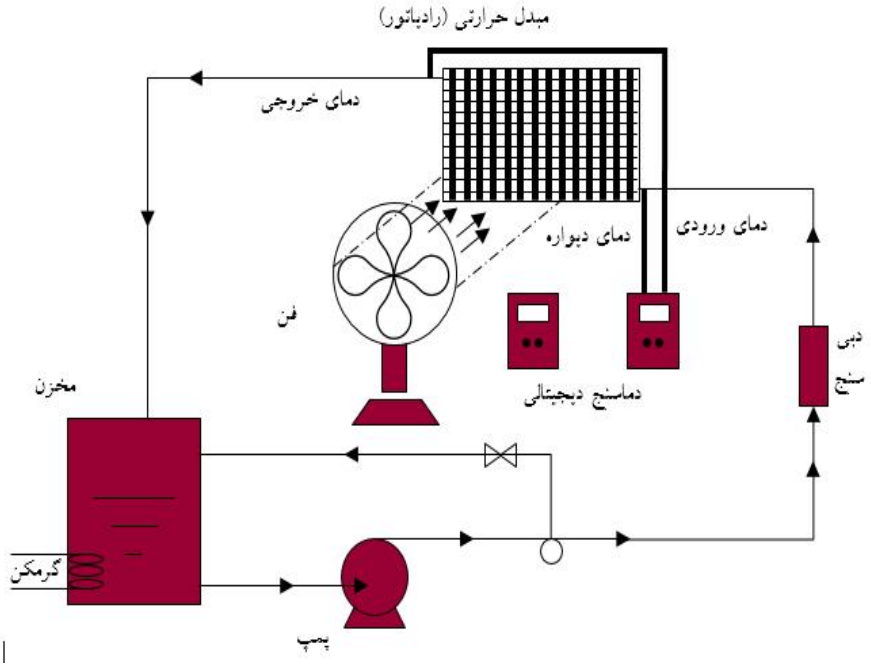
سیستم خودروهای امروزی از پروانه و موتور برقی استفاده می‌شود. این موتور برقی که نیروی آن توسط باتری تأمین می‌شود، دارای سیم‌پیچی خاص برای به حرکت درآوردن پروانه فن است. موتور فن با به حرکت درآوردن پروانه فن باعث پایین آمدن دمای موتور خودرو می‌شود. در اطراف رادیاتور، یک مجرای ورودی و یک خروجی قرار دارد. آب جوش از داخل مخزن آب جوش، توسط پمپ به داخل مجرای ورودی رادیاتور پمپ می‌شود. نوع پره‌های این رادیاتور کروگیت یک ردیفه است. مجرای پایینی، مجرای ورودی آب جوش و مجرای بالایی در رادیاتور، مجرای خروجی آب خنک شده است. به‌منظور ایجاد گردش آب در سیستم طراحی شده از یک پمپ گریز از مرکز استفاده شد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری دمای سیال ورودی به رادیاتور و هم‌چنین



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

سیال خروجی از آن، از دماسنج دیجیتال مدل ZU-1 استفاده شد. مخزن آب جوش و المنت‌های گرمکن در حقیقت به‌جای سیستم گرمایی موتور خودرو برنامه‌ریزی شده است. در شکل (۲)، مخزن ذخیره آب و سیستم آنالوگ کنترل دمای آن نشان داده شده است. جهت جوشاندن آب در مخزن، از یک المنت حرارتی ۲۰۰۰ واتی استفاده شد که توان موردنیاز آن از طریق برق ۲۲۰ ولت تامین شد. به‌منظور تامین سیستم گردش جریان در رادیاتور و مخزن ذخیره آب جوش، بر روی درب مخزن سوراخی ایجاد شد و شیر برگشت جریان آب خنک شده از رادیاتور به آن متصل شد.




**شکل ۱: شماتیک سامانه شبیه ساز سیستم خنک کاری موتور**

برای محاسبه نرخ انتقال حرارت نانوسیالات از رابطه انتقال حرارت از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود[۴].

$$_{nf}= \dot{m}_{nf}Cp_{nf}\,(T_{out}- T_{in})_{nf}\dot{Q} \qquad (۱۵)$$

$\dot{Q}$ به‌وجود آمده در سیستم ستآپ آزمایش توسط هیتر تامین می‌شود. شکل (۲) سیستم تأمین گرما را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر بعد از اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر سیستم هیتر توسط مولتی‌متر، گرمای منتقل شده از هیتر به منبع تغذیه آب گرم مشخص می‌گردد.

$$\dot{Q}=V\times I \qquad (۱۶)$$

با محاسبه شار حرارتی، پارامترهای ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نانوسیال ($\hbar_{nf}$) و دمای بالک ($T_{nf}$) از روابط (۱۷) و (۱۸) به‌دست می‌آید. در شکل (۳) رادیاتور تولید شرکت کوشش رادیاتور، که مناسب برای پراید صبا است، نشان داده شده است. این قطعه از جنس آلومینیوم ساخته شده است. در اطراف رادیاتور، یک مجرای ورودی و یک خروجی قرار دارد.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]



**شکل ۲: سیستم تامین گرما با دمای کنترل شده**



**شکل ۳: رادیاتور مورد استفاده در سیستم شبیه ساز خنک کننده موتور**

در این تحقیق از پمپ آب پنتاکس مدل PM-45IR بهره‌گیری شد. توان موردنیاز این پمپ از طریق برق ۲۲۰ ولت تأمین شد. در شکل (۴) تصویر این پمپ نشان داده شده است.



**شکل ۴: پمپ آب پنتاکس مدلPM-45IR**

$$h_{n_f} = \frac{\dot{Q}_{nf}}{A\left(T_w - T_{nf}\right)} \quad (۱۷)$$

$$=0.5\ (T_{out}\text{-}T_{in})T_{nf} \quad (۱۸)$$



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

در رابطه (۱۷)، $T_w$ دمای دیواره می‌باشد که توسط دماسنج خوانش می‌شود. عدد ناسلت نانوسیال از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود که در آن $D_H$ قطر هیدرولیکی سطح مقطع لوله می‌باشد[۱۹].

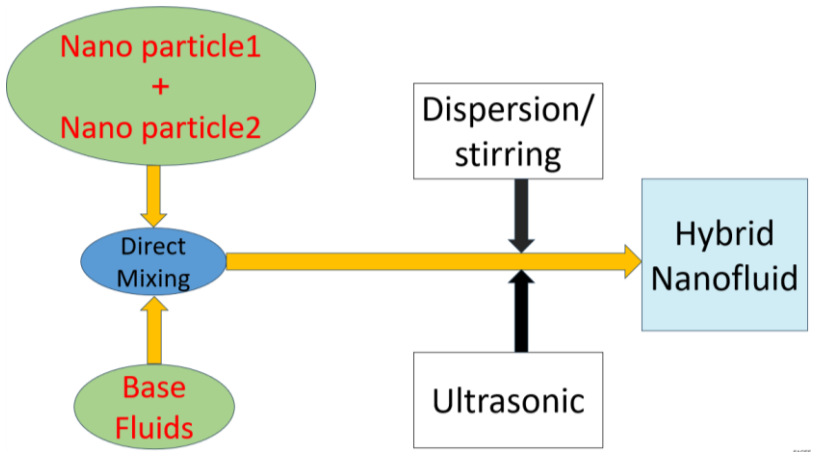
$$Nu_{nf}=\frac{h_{nf}D_H}{k_{nf}} \quad (۱۹)$$

## ۲-۳ - طراحی آزمایش[۳](DOE)

برای بررسی اثر متغیرها، طراحی آزمایش صورت می‌گیرد. در روش طراحی آزمایش به‌روش سنتی فقط یک عامل به‌عنوان متغیر در نظر گرفته می‌شود و دیگر عوامل در یک سطح قرار می‌گیرد که این روش "یک متغیر در یک زمان" نامیده می‌شود. خواص نانوسیال وابسته به مواردی از قبیل نوع نانوذرات، غلظت نانوذره در سیال پایه، اندازه نانوذره، دمای نانوسیال و سیال پایه وابسته است. در این تحقیق فقط غلظت نانوسیال در سیال پایه اتیلن‌گلیکول مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق سیال خنک‌کننده موتور با نسبت جرمی ۵٪ نانوذره مورد مطالعه قرار گرفت. در جدول (۱) نانوسیالات خنک‌کننده‌ی مورد مطالعه در این تحقیق نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ۵ حالت آزمایشی وجود دارد که در دماهای ۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۵ درجه‌سانتی‌گراد صورت می‌پذیرد. با فرض۴ مرتبه تکرار در هر حالت در مجموع ۸۰ سری آزمایش صورت می‌پذیرد. در جدول (۱)، تمام ۵ حالت اصلی ترکیبات مورد آزمایش مشخص شده است که با A، B، C، D و E نام‌گذاری شده است.

**جدول ۱: مشخصات ترکیبات نانوسیالات خنک کننده مورد مطالعه در این تحقیق**

| ردیف | غلظت $TiO_2$(٪) | غلظت $SiC$ (٪) | نماد نانوسیال |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۰ | BF (**A**) |
| ۲ | ۱ | ۴ | NF-4%SiC-1%$TiO_2$(**B**) |
| ۳ | ۲ | ۳ | NF-3%SiC-2%$TiO_2$ (**C**) |
| ۴ | ۳ | ۲ | NF-2%SiC-3%$TiO_2$(**D**) |
| ۵ | ۴ | ۱ | NF-1%SiC-4%$TiO_2$(**E**) |




**شکل ۵: طرحواره تهیه نانوسیال هیبریدی**

[3] Design of Experiment (DOE)



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

### ۲-۴ آماده‌سازی نانوسیال

ابتدا براساس درصدهای جرمی نانوذره در سیال خنک کننده، وزن لازم برای هر نمونه از نانوسیال اندازه‌گیری شد. در این تحقیق برای آماده‌سازی نانوسیال از همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت (جهت توزیع ذرات درون سیال پایه) و از دستگاه پراب التراسونیک به مدت یک ساعت (به منظور از بین بردن کلوئیدهای احتمالی) و در پایان از حمام اولتراسونیک[4] به مدت ۳۰ دقیقه (با هدف همگن و پایدارسازی محلول) استفاده شد. در شکل (۶) تصویر حمام التراسونیک نشان داده شده است. این فرآیندهای تولید محصول برای تمامی نمونه‌های مورد آزمایش انجام شد. پایداری و یکنواختی نانوسیال بررسی شد، برای این منظور از محلول به‌دست آمده عکس تهیه گردید، پس از ده روز از تولید محصول مجدد عکسی تهیه شد و این کار برای ۳۰امین روز از تولید نانوسیال نیز صورت گرفت. هیچ تغییری در محصول تولید شده مشاهده نگردید. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است، که با توجه به این‌که دمای عملیاتی سیال مورد مطالعه، بالای ۹۰ درجه سانتی‌گراد است و از طرفی مداوم جریان سیال خنک‌کاری موتور توسط پمپ در حال گردش است لذا این موضوع مجدداً سبب توزیع یکنواخت‌تر نانوذرات در سیال می‌شود و عملاً نگرانی از ته‌نشینی مجدد نانوذرات در سیال وجود نداشت.



**شکل۶: حمام التراسونیک استفاده شده**

دی‌اکسیدتیتانیوم نوعی ترکیب غیرآلی با فرمول شیمیایی $TiO_2$ است. این ترکیب با ظاهری پودری به رنگ سفید در سه فاز آناتاز، روتایل و بروکیت وجود دارد. این فازهای کریستالی در برخی از ویژگی‌ها از جمله ضریب شکست، ضریب دی‌الکتریک و واکنش‌پذیری شیمیایی با یکدیگر متفاوت هستند. دی‌اکسیدتیتانیوم در فاز آناتاز از لحاظ ترموفیزیکی بسیار پایدارتر است. این نانوذرات، دارای دو نوع ساختار به نام‌های نوع S و نوع P می‌باشد. ساختار نوع S دارای ذرات کروی‌شکل و ساختار نوع P دارای شکل متخلخل می‌باشد. نانو ذرات اکسید تیتانیوم از نوع P، به‌دلیل وجود منافذ بسیار ریز، دارای چگالی کم‌تری نسبت به نوع S می‌باشد بنابراین دارای مساحت سطح ویژه بزرگ‌تری است[۲۰]. این نوع نانوذره از برند شرکت Fine Nano تهران تهیه شده است که دارای مشخصات ارائه شده در کالانما تجاری (بروشور) می‌باشد، در جدول (۲) ارائه شده است. در شکل (۷) این نانوذره مشاهده می‌شود.

**جدول۲: مشخصات نانوذره $TiO_2$**

| CAS NO | فرمول شیمیایی | وزن مولکولی | چگالی $gr/cm^3$ | نوع فاز | مورفولوژی | اندازه ذرات nm | Stock No |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۱۷-۸۰-۲ | $TiO_2$ | ۷۹/۸۸ | ۳/۷۸ | آناتاز | کروی | 50< | TNP601 |

[4] Bath Ultrasonic



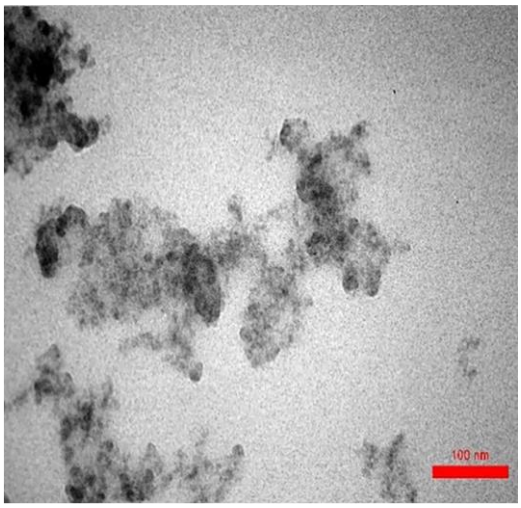
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]




**شکل۷:تصویر نمونه نانوذره $TiO_2$**

به‌منظور بررسی مورفولوژی سطح از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. در شکل (۸) تصویر SEM این نانوذره مشاهده می‌گردد.




**شکل۸: تصویر SEM نمونه $TiO_2$**

کاربیدسیلیسیوم دارای ساختار هگزاگونال یا مکعبی است و دارای مقاومت شیمیایی بالا و مقاومت الکتریکی پایین می‌باشد. SiC، بدون این‌که تغییرات شیمیایی و فیزیکی قابل ملاحظه‌ای در آن رخ دهد، می‌تواند تا □ ۱۰۰۰ را تحمل نماید. نانوپودر کاربیدسیلیکون، بهترین ماده نیمه‌رسانای مورد استفاده در صنعت الکترونیک می‌باشد و می‌تواند تا ولتاژهای بالا کار کند[۲۱]. این نوع نانوذره از شرکت Fine Nano، تهران تهیه شد. این نانوذره به رنگ سفید خاکستری و خلوص بیش از ۹۹ درصد مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول (۳) مشخصات نانوذره SiC شرح داده شده است.

**جدول ۳: مشخصات نانوذره SiC**

| CAS NO | فرمول شیمیایی | شکل ظاهری | چگالی $gr/cm^3$ | نوع | پتانسیل زتا mV | مورفولوژی | اندازه ذرات nm | سطح ویژه $m^2/gr$ | درصد کربن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴۰۹-۲۱-۲ | SiC | پودری | ۳/۲۱۶ | بتا | ۲۷/۸ | مکعبی | ۸۰-۴۰ | ۸۰-۴۰ | ٪۷۶ |



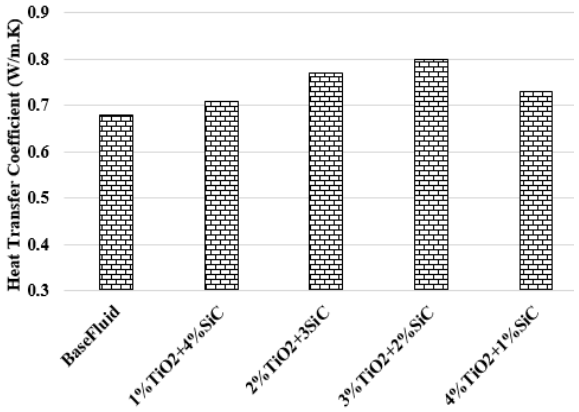
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

اتیلن‌گلیکول به‌کار رفته در سیال پایه از برند مرک آلمان می‌باشد که دارای فرمول شیمیایی $C_2H_6O_2$ چگالی $gr/cm^3$ ۱/۱۳۷ می‌باشد و pH محلول برابر ۷/۵، نقطه انجماد ۳۷- و نقطه جوش ۱۰۹ می‌باشد. پس از آماده‌سازی هر یک از ترکیبات نانوسیالات، ۴ پارامتر مؤثر نقطه جوش، نقطه انجماد، ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی هر نانوسیال در دمای ۸۰ با استفاده از دستگاه KD2 که ساخت شرکت Decagon Devices انجام شد. گرانروی نانوسیالات براساس استاندارد ASTM D-445 اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری نقطه انجماد نانوسیالات از دستگاه تست نقطه انجماد دیجیتال و تمام اتوماتیک ساخت شرکت پارسیان تکنولوژی ایران استفاده شد. هم‌چنین نقطه جوش نانوسیال مطابق استاندارد ASTM D1120 – 17 اندازه‌گیری شد.

## ۳- نتایج و بحث

در شکل (۹) نمودار تغییرات ضریب هدایت حرارتی برای ۵ حالت اصلی مورد مطالعه مشخص شده است. اثرات افزودن نانوذرات هیبریدی بر افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال خنک‌کننده در مطالعات ژانگ و همکاران[۲۲]، و علیرضایی و همکاران[۲۳] نیز روند مشابهی را داشته است. بهترین ضریب هدایت حرارتی به ازای ۳٪ دی‌اکسیدتیتانیوم و ۲٪ کاربیدسیلیسیوم مشاهده شد، که مقدار این کمیت اندازه‌گیری شده نسبت به سیال پایه افزایش ۱۵٪ را از خود نشان داده است. اصولاً علت اصلی افزایش ضریب هدایت حرارتی نانوسیال افزایش حرکت اتفاقی نانوذرات است. چرا که جزء حجمی نانوذرات آن‌قدر کوچک است که در هیچ نوع میانگینی اعم از میانگین وزنی یا حجمی چنین اثراتی مشاهده نمی‌گردد.

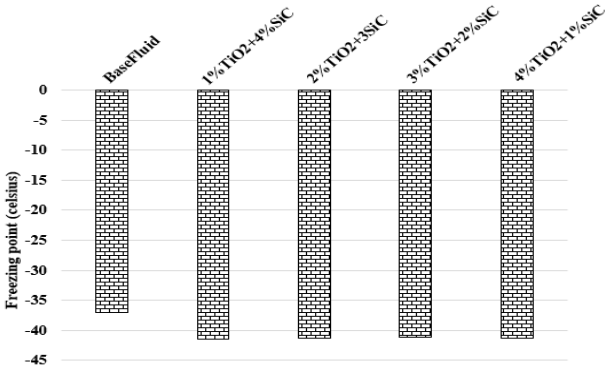



**شکل۹: ضریب هدایت حرارتی در دمای ۸۰ برای ۵ حالت آزمایش**

به‌طورکلی افزودن نانوذره به سیال‌پایه سبب کاهش نقطه انجماد نانوسیال می‌شود. این مفهوم در مطالعه بزرگان و همکاران[۲۴] نیز مشاهده می‌شود. در شکل (۱۰) همان‌طور که مشاهده می‌شود، نقطه انجماد سیال خنک‌کننده از ۳۷- به محدوده ۴۱- تا ۴۱/۸- کاهش پیدا کرد. افزوده شدن ۵٪ نانوذره به سیال‌پایه حدود ۱۱٪ نقطه انجماد را کاهش داد.

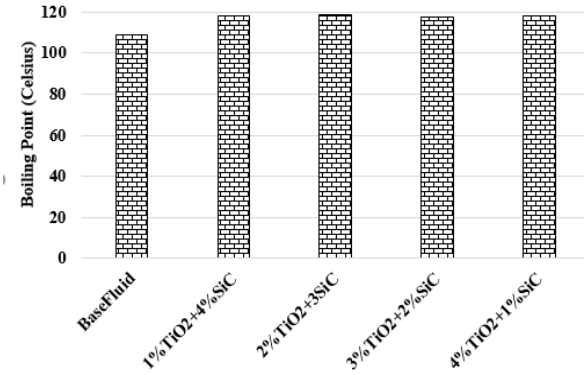
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]




**شکل۱۰: نقطه انجماد برای ۵ حالت آزمایش**

در شکل (۱۱) نقطه جوشش برای ۵ حالت اصلی نشان داده شده است. دمای جوشش در حالت سیال پایه □۱۰۹ است و با اضافه شدن نانوذره به □۱۲۰ می‌رسد. هولی و همکاران[۲۵] نیز در نتایج مطالعات خود اضافه شدن نانوذرات به سیال پایه را سبب افزایش نقطه جوش مشاهده نمودند. در این تحقیق نوع نانوذره بر نقطه جوش عملاً فاقد تأثیر معنی‌دار بود. چون درصد نانوذره در سیال پایه همواره ٪۵ ثابت بود و به‌صورت ترکیبی از آن‌ها بود لذا اثر جداگانه هر نوع نانوذره بر نقطه جوشش نانوسیال قابل مشاهده نبود.

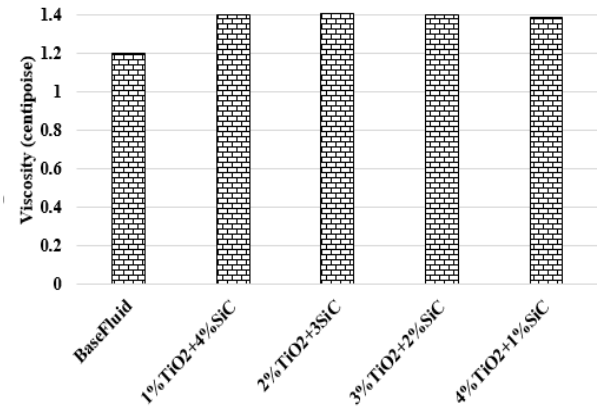



**شکل۱۱: مقایسه نقاط جوشش سیال خنک کننده در ۵ حالت آزمایش**

در شکل (۱۲) تغییرات ویسکوزیته به ازای نانوسیال‌های مختلف نشان داده شده است. افزودن نانوذرات به سیال خنک‌کننده موتور سبب افزایش چشم‌گیری در ویسکوزیته آن شد. افزوده شدن ۵٪ جرمی نانوذره به سیال پایه خنک کننده موتور سبب افزایش ویسکوزیته نانوسیال به مقدار ٪۱۴/۸ شد اما با تغییر نوع نانوذره، تغییرات در ویسکوزیته معنادار نبود. ویسکوزیته نانوسیال عمدتاً به غلظت نانوذرات وابسته بود و با توجه به این‌که در تمامی نمونه‌های نانوسیال هیبریدی، مجموع غلظت نانوذرات ٪۵ لذا تغییرات معناداری در ویسکوزیته مشاهده شد. محبول و همکاران[۲۶] و هم‌چنین طرقعی و همکاران[۲۷] در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند که افزودن نانوذرات به سیالات سبب افزایش گرانروی نانوسیال خواهد شد.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]




**شکل۱۲: مقایسه ویسکوزیته سیال خنک کننده در ۵ حالت آزمایش**

در جدول (۴)، پارامترهای اساسی که در ویژگی‌های فیزیکی نانوسیال موثر واقع هستند، اندازه‌گیری و گردآوری شد. در ۵ حالت آزمایش در دمای □ ۸۰ پارامترهایی از قبیل دمای جوشش، دمای انجماد، ضریب رسانش گرمایی، ظرفیت ویژه حرارتی، چگالی و دانسیته مورد بررسی قرار گرفت.

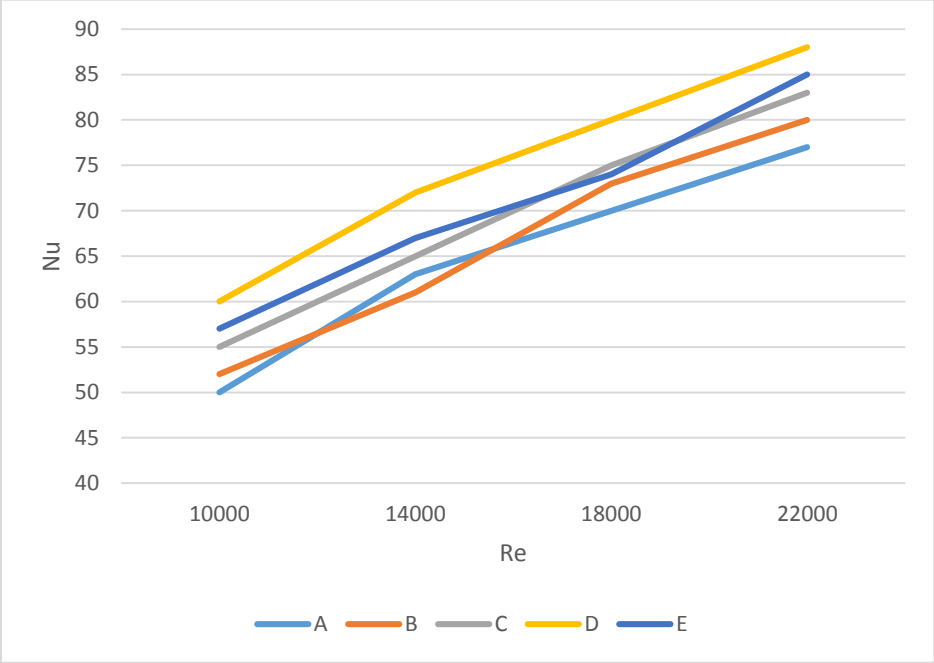
**جدول ۴: داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده در ۵ حالت آزمایش**

| پارامتر | سیال پایه | $1\%TiO_2$ $+4\%SiC$ | $2\%TiO_2$ $+3\%SiC$ | $3\%TiO_2+$ $2\%SiC$ | $4\%\ TiO_2+$ $1\%SiC$ |
|---|---|---|---|---|---|
| دمای جوشش □ | ۱۰۹ | ۱۱۸/۳ | ۱۱۸/۴ | ۱۱۷/۶ | ۱۱۷/۹ |
| دمای انجماد □ | -۳۷ | -۴۱/۵ | -۴۱/۳ | -۴۱/۲ | -۴۱/۴ |
| ضریب رسانش گرمایی($W.K^{-1}.m^{-1}$) | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰۸ | ۱/۰۶ |
| ظرفیت گرمایی ویژه حرارتی($J.g^{-1}.K^{-1}$) | ۳/۳۹ | ۳/۰۲ | ۲/۹۹ | ۲/۹۷ | ۳/۱۱ |
| دانسیته ($kg.m^{-3}$) | ۱۱۳۷ | ۱۱۴۲/۵ | ۱۱۴۸/۵ | ۱۱۵۲ | ۱۱۶۰/۵ |
| ویسکوزیته $Kg.m^{-1}.s^{-1}$ | ۱/۲ | ۱/۴ | ۱/۴۱ | ۱/۴ | ۱/۳۹ |

تمامی آزمایش‌های پژوهش حاضر با دمای ورودی ۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۵ درجه‌سانتی‌گراد می‌باشد. از آن‌جایی‌که مشاهدات در تمامی دماهای ورودی رفتار نسبتا یکسانی داشته‌اند، در این نمودار با افزایش دبی توسط پمپ عدد ناسلت افزایش پیدا کرده است. به‌عبارتی با توجه به رابطه $Re=\frac{4Q}{\pi Dv}$ و هم‌چنین دبی حجمی $Q=VA$ می‌توان دریافت، که با افزایش میزان نرخ جریان و هم‌چنین افزایش سرعت جریان، انتقال حرارت بهبود می‌یابد.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]




**شکل ۱۳: نمودار تغییرات عدد ناسلت بر حسب رینولدز در دمای ۸۰ درجه‌سانتی‌گراد برای ۵ حالت اصلی آزمایش**

همان‌طور که در شکل (۱۳) مشخص شده است، در حالت D (NF-2%SiC-3%$TiO_2$) بهترین نتایج عدد ناسلت نسبت به سیال پایه به‌دست می‌آید. به‌طور تقریبی در تمامی دماها و دبی‌های جریان مقدار عدد ناسلت افزایش ۲۰٪ نسبت به سیال پایه خواهد داشت.

**جدول ۵ : عدم قطعیت تجهیزات پژوهش حاضر**

| نوع تجهیز | عدم قطعیت |
|---|---|
| **دماسنج دیجیتالی** | ۰±/۱ $^{\circ}C$ |
| **دبی‌سنج** | ۳٪ |
| **کولیس (اندازه‌گیری قطر)** | ۹۵/۵ |

در جدول (۵) عدم‌قطعیت تجهیزات تدازه‌گیری پژوهش نشان داده شده است. همچنین با استفاده از تئوری روش موفات از رابطه (۲۰) عدم قطعیت عدد ناسلت محاسبه شده است[۲۸].

$$U_h = \left[\left(\left(\frac{h}{k}\right)U_D\right)^2 + \left(\left(\frac{D}{k}\right)U_h\right)^2 + \left(-\left(\frac{hD}{k^2}\right)U_k\right)^2\right]^{0.5} \quad (۲۰)$$

مقدار خطای عدد ناسلت ٪۷/۱ محاسبه شد.

## ۴- نتیجه‌گیری

با افزودن نانو ذرات به سیال پایه و هم‌چنین با افزایش غلظت نانوذره در سیال پایه میزان چگالی نانو سیال افزایش یافت به‌طوری که نانوسیال تولیدی غلظت بیش‌تر $TiO_2$ دارای چگالی بیش‌تری نسبت به نانوذره SiC بود. افزودن نانوذره به سیال پایه سبب افزایش و بهبود ضریب انتقال حرارتی در تمام غلظت‌های مختلف شد. در حالت استفاده از نانوذرات هیبریدی دی‌اکسیدتیتانیوم و کاربیدسیلیسیوم بهترین ضریب هدایت حرارتی به ازای ۳٪ دی‌اکسیدتیتانیوم و ۲٪ کاربیدسیلیسیوم مشاهده شد، که مقدار



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

آن نسبت به سیال پایه ۱۵٪ افزایش یافت. افزوده شدن ۵٪ نانوذره به سیال پایه حدود ۱۱٪ نقطه انجماد را کاهش داد و هم‌چنین سبب افزایش نقطه جوش نسبت به سیال پایه شد. اما نوع نانوذره بر نقطه انجماد و نقطه جوش نانوسیال فاقد تاثیر معنی‌دار بود. ویسکوزیته سیال پایه با افزوده شدن نانوذرات افزایش یافت به‌طوری که با تغییر نوع نانوذره و ثابت ماندن غلظت مجموع نانوذرات هیبریدی، ویسکوزیته نانوسیال تغییرات معناداری نداشت. ترکیب NF-2%SiC-3%$TiO_2$ بهترین نتایج عدد ناسلت نسبت به سیال پایه را در پی داشت. به‌طور تقریبی در تمامی دماها و دبی‌های جریان مقدار عدد ناسلت افزایش ۲۰٪ نسبت به سیال پایه خواهد داشت.

## فهرست علائم

| علائم انگلیسی | |
|---|---|
| M | جرم،kg |
| T | دما، □ |
| L | طول، m |
| A | مساحت،$m^2$ |
| S | زمان، t |
| K | ضریب رسانش حرارتی، $(W.m°C^{-1})$ |
| $C_p$ | گرمای ویژه در فشار ثابت، $(J.kg.°C^{-1})$ |
| علائم یونانی | |
| ρ | چگالی،$kg/m^3$ |

## مراجع


[1] Kapıcıoğlu, A., Esen, H., Experimental investigation on using $Al_2O_3$/ethylene glycol-water nano-fluid in different types of horizontal ground heat exchangers, Applied Thermal Engineering, 165 (2020), 114559

[2] Khare, N., Kohli, D. K., Analysis on Heat Recovery of an Engine Radiator using $(CH_2OH)_2$ Based Nanofluid Having $TiO_2$ Nano Particles, Journal of Thermal Engineering and Applications, 6(2) (2019), 10-23.

[3] Ramezanizadeh, M., Alhuyi Nazari, M., Ahmadi, M. H., Chau, K.-w., Experimental and numerical analysis of a nanofluidic thermosyphon heat exchanger, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 13(1) (2019), 40-47.

[۴] کیا سید محمود، نوبختی محمد حسن، خیاط مرتضی. بررسی تجربی انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال پایه روغن-$Al_2O_3$ در لوله مارپیچ و مشاهده تأثیر توربولاتور بر عملکرد مبدل حرارتی پوسته و لوله. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۳۹۹; ۷ (۳) : ۸۰-۶۱

[5] Rahul Jibhakate, Nilesh Nirwan, Yogesh Nandanwar, Thermal analysis of hybrid nanofluid flowing inside the automobile radiator, (2023), https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.200

[6] Muhammad Arif, Poom Kumam, Wiyada Kumam, Zaydan Mostafa, Heat transfer analysis of radiator using different shaped nanoparticles water-based ternary hybrid nanofluid with applications: A fractional model, Case Studies in Thermal Engineering, 31 (2022), 101837.

[7] Heris, S. Z., Esfahany, M. N., Etemad, S. G., Experimental investigation of convective heat transfer of Al2O3/water nanofluid in circular tube, International journal of heat and fluid flow, 28(2) (2007), 203-210.

[8] Siraj Ali Ahmed, Mehmet Ozkaymak, Adnan Sözen, Tayfun Menlik, Abdulkarim Fahed, Improving car radiator performance by using $TiO_2$-water nanofluid", Engineering Science and


[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

Technology, an International Journal , 21(5) (2018), 996-1005, https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.07.008

[9] Durmaz Ufuk, opuz Adnan, Mert Serdar, An experimental study on cooling performance of a car radiator using $Al_2O_3$ - ethylene glycol/water nanofluid", Thermal Science, 25(1) (2021), 801-809, https://doi.org/10.2298/TSCI190630179M.

[10] Ho, C., Huang, J., Tsai, P., Yang, Y., On laminar convective cooling performance of hybrid water-based suspensions of $Al_2O_3$ nanoparticles and MEPCM particles in a circular tube, International Journal of Heat and Mass Transfer, 54(11-12) (2011), 2397-2407.

[11] Nimmagadda, R., Venkatasubbaiah, K., Conjugate heat transfer analysis of micro-channel using novel hybrid nanofluids $Al_2O_3$+ Ag/Water, European Journal of Mechanics-B/Fluids, 52 (2015), 19-27.

[12] Ramadhan, A., Azmi, W., Mamat, R. Heat transfer characteristics of car radiator using tri-hybrid nanocoolant, Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2020).

[13] Kumar, A., Hassan, M., Chand, P., Heat transport in nanofluid coolant car radiator with louvered fins, Powder Technology, 376 (2020), 631-642.

[14] Farrukh Abbas, Muhammad Shaban, Majid Ahmadlouydarab., "Towards convective heat transfer optimization in aluminum tube automotive radiators: Potential assessment of novel $Fe_2O_3$-$TiO_2$/water hybrid nanofluid", Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 124 (2021), 424-436.

[15] Hassaan Ahmad, Kamel Al-Khaled, Ahmad Hammad, Experimental investigation for automotive radiator heat transfer performance with ZnO–$Al_2O_3$/water-based hybird nanoparticles: An improved thermal model, International Journal of Modern Physics B, 37(05) (2023), 2350050

[16] Ashutosh Kumar, M.A. Hassan, Heat transfer in flat tube car radiator with CuO-MgO-$TiO_2$ ternary hybrid nanofluid, Powder Technology, 434 (1) (2024), 119275.

[17] Deepesh Siddha, Aniket Oswal, Deepesh Bhalodia, Akshay Sunctankar, CFD simulation of heat transfer performance of hybrid nanofluids in radiator, INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN MATHEMATICS AND COMPUTATIONAL ENGINEERING: ICRAMCE, 2829 (1) (2023).

[18] Ali Eslahchi, Mohammad Hasan Nobakhti, Mohammad Behshad Shafii, Mohammad Hosein Dibaei Bonab., Experimental evaluation of forced convective heat transfer of $Fe_3O_4$ ferrofluid in a horizontal u-shaped tube under variable magnetic field effect based on Taguchi approach, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 43 (2021), 208.

[19] Mohammad Hosein Dibaei Bonab, Mohammad Shafii, Mohammad Hasan Nobakhti., Experimental and numerical investigation of fully developed forced convection of water-based $Fe_3O_4$ nanofluid passing through a tube in the presence of an alternating magnetic field, (2015) ,https://doi.org/10.1177/1687814015571023.

[20] A.A. Abbasian Arani, J. Amani., Experimental investigation of diameter effect on heat transfer performance and pressure drop of $TiO_2$–water nanofluid, Experimental Thermal and Fluid Science, 44 (2013), 520-533.

[21] Nader Nikkam, Ehsan B. Haghighi, Mohsin Saleemi, Experimental study on preparation and base liquid effect on thermo-physical and heat transport characteristics of α-SiC nanofluids, International Communications in Heat and Mass Transfer, 55 (2014), 38-44.

[22] Zhang, X., Li, C., Zhang, Y., Jia, D., Li, B., Wang, Y., Performances of $Al_2O_3$/SiC hybrid nanofluids in minimum-quantity lubrication grinding, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 86(9-12) (2016), 3427-3441.

[23] Alirezaie, A., Hajmohammad, M. H., Ahangar, M. R. H., Esfe, M. H., Price-performance evaluation of thermal conductivity enhancement of nanofluids with different particle sizes, Applied Thermal Engineering, 128 (2018), 373-380.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

[24] Bozorgan, N., Krishnakumar, K., Numerical study on application of CuO-water nanofluid in automotive diesel engine radiator, (2012).
[25] Hu, Y., Li, H., He, Y., Liu, Z., Zhao, Y., Effect of nanoparticle size and concentration on boiling performance of $SiO_2$ nanofluid. International Journal of Heat and Mass Transfer, 107 (2017), 820-828.
[26] Mahbubul, I., Saidur, R., Amalina, M., Latest developments on the viscosity of nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55(4) (2012), 874-885.
[27] Toghraie, D., Alempour, S. M., & Afrand, M., Experimental determination of viscosity of water based magnetite nanofluid for application in heating and cooling systems, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 417 (2016), 243-248.
[28] F. Moradi, M. Khayat, M.H. Nobakhti, Experimental study of the effect of oil-based nanofluid on heat transfer characteristics in different arrangements of wavy microchannels, Jounal of Sharif Mechanic, 40, (June2024), 85-96.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]

# Investigating the experimental effect of $TiO_2$/SiC hybrid nanoparticles on the heat transfer performance of car radiator coolant

**Hasan Amirahmadi[1], Mohammadhasan Nobakhti[*2], Ahmed Falih Al-hamidi[3]**

[1,2,3] Department of Mechanical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: Winter 2025 Accepted: Spring 2025

## Abstract

In this paper, a new nanofluid based on hybrid nanoparticles was synthesized for cooling the radiator of internal combustion engines. Titanium oxide ($TiO_2$) and silicon carbide (SiC) nanoparticles were studied and investigated in four different concentrations and combinations of 1, 2, 3 and 4 mass% in ethylene glycol base fluid at four radiator inlet temperatures of 80, 85, 90 and 95°C. The total mass concentration of hybrid nanoparticles in the base fluid was 5%. In order to implement the cooling system conditions of an internal combustion engine, a test bed set including a pump, radiator, boiler, communication pipes, thermometer, etc. was prepared. After calibrating the measuring devices, the tests were conducted in 5 different states including the base fluid and 4 hybrid nanofluids in different percentages, and the temperatures of the fluid entering and leaving the radiator were recorded in each test. The results showed that by adding nanoparticles to the base fluid, the density and viscosity of the nanofluid increased. The freezing point in the 4%$TiO_2$+1%SiC state showed a decrease of 4.4°C compared to the base state and experienced a decrease of -41.4°C. Also, regarding the boiling point temperature in the 2%$TiO_2$+3%SiC state, the temperature shows an increase of 9.4℃ compared to the base fluid state, which will lead to a temperature of 118.4℃. Finally, the application of nanofluids in the engine cooling system showed that the best performance belongs to the hybrid nanofluid with 3%$TiO_2$+2%SiC, which results showed that the Nusselt number in all states of the hybrid nanofluid with 3%$TiO_2$+2%SiC will increase by approximately 20% compared to the base state (ethylene glycol only).

**Key words:** Nanofluid, hybrid, ethylene glycol, cooling, radiator

*corresponding author: m.nobakhti@srbiau.ac.ir

**Cite this article as:** Hasan Amirahmadi, Mohammadhasan Nobakhti, Ahmed Falih Al-hamidi, Investigating the experimental effect of $TiO_2$/SiC hybrid nanoparticles on the heat transfer performance of car radiator coolant. **Journal of Energy Conversion, 2025, 12(1), 75-91**.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.82377/jees.2025.1.524 ]