

مزایای اقتصادی استفاده از خنک‌کننده نانو در رادیاتور خودروها



شناسنامه

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	سال انتشار:	۱۴۰۳
نویسندگان:	اشکان عبدشاهی، سروش صحرائیان	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir

محتوای صنعتی و فناوری خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

۳	معرفی
۴	مزایا
۵	تحلیل هزینه-فایده استفاده از ضدیخ‌های نانویی
۸	شرکت‌های ایرانی تولیدکننده ضدیخ نانویی
۸	پی‌نوشت
۸	منابع

معرفی

آب رادیاتور یکی از اجزای حیاتی در سیستم خنک کننده خودروهاست که نقش بسیار مهمی در حفظ دمای موتور ایفا می کند [۱]. این مایع به طور خاص برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد موتور طراحی شده و به عنوان یک انتقال دهنده حرارت عمل می کند [۲]. در واقع آب رادیاتور با جذب حرارت تولید شده توسط موتور و انتقال آن به رادیاتور، دمای موتور را در محدوده ای ایمن نگه می دارد و بدین ترتیب از آسیب های جدی به موتور جلوگیری می کند [۳].

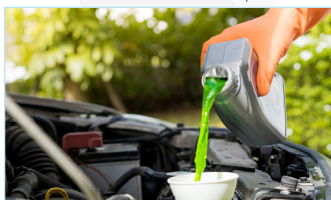
آب رادیاتور معمولاً از ترکیب آب و مواد افزودنی خاصی تشکیل شده است که به منظور جلوگیری از یخ زدگی، افزایش دمای بیش از حد موتور، خوردگی و تشکیل رسوبات در سیستم خنک کننده طراحی شده است [۴]. این مواد افزودنی شامل ضدیخ ها و ترکیبات شیمیایی هستند که به حفظ کارایی و عملکرد سیستم کمک می کنند. در این راستا، ضدیخ ها به دو نوع عمده تقسیم می شوند: ضدیخ هیبریدی و ضدیخ آلی [۵]. ماده اولیه رایج مورد استفاده در ضدیخ بر پایه هیبریدی، عمدتاً اتیلن گلیکول است که در فرمولاسیون هایی متفاوت و تحت شرایط خاصی به کار می رود [۶].

ضدیخ های هیبریدی ترکیبی از مواد آلی و غیر آلی هستند که ترکیب این دو نوع در نهایت باعث افزایش کارایی سیستم خنک کننده می شود. ضدیخ های هیبریدی معمولاً شامل مواد شیمیایی هستند که به محافظت در برابر خوردگی و رسوب گذاری کمک می کنند. این ترکیبات برای خودروهایی که به حفاظت بیشتری نیاز دارند، مناسب هستند و به دلیل فرمولاسیون خاص خود، به مدت طولانی و قابل قبولی قابلیت استفاده دارند [۶]. از طرفی ضدیخ های آلی که به عنوان فناوری اسید آلی (Organic Acid Technology - OAT) شناخته می شوند، به دلیل مزایای خود مانند کاهش خطر خوردگی و افزایش عمر مفید قطعات، در خودروهای جدیدتر به کار می روند. این نوع از ضدیخ ها عموماً نیازی به تعویض مکرر نداشته و می توانند محافظت قابل اعتمادی را برای سیستم خنک کننده فراهم کنند [۷]. فرمولاسیون OAT به گونه ای است که به خصوص در شرایط خاص، به حفظ ساختار و عملکرد مایع خنک کننده کمک می کند. همچنین ماده اولیه رایج مورد استفاده در این نوع از ضدیخ ها عموماً پروپیلن گلیکول است که از ویژگی های بارز آن می توان به کاهش نقطه انجماد، افزایش قابلیت انتقال حرارت و ایمنی بیشتر در مقایسه با اتیلن گلیکول اشاره کرد که البته در فرمولاسیون هایی متفاوت و تحت شرایط خاصی به کار می رود [۷].

همان طور که ذکر شد، ضدیخ های قدیمی عمدتاً بر پایه اتیلن گلیکول یا پروپیلن گلیکول ساخته می شوند که به نوبه خود دارای معایب قابل توجهی هستند که می تواند عملکرد سیستم خنک کننده را تحت تأثیر قرار دهد. یکی از مشکلات اصلی ضدیخ ها، محدودیت در انتقال حرارت است که باعث می شود دمای موتور در شرایط سخت کاری، به خصوص در کارکردهای متناوب و طولانی، به سرعت کنترل نشود [۸]. همچنین ضدیخ های رایج قدیمی معمولاً سبب تشکیل رسوبات و خوردگی در اجزای داخلی سیستم خنک کننده می شوند که می تواند عمر مفید قطعات را کاهش دهد و هزینه های تعمیر و نگهداری از آن ها را افزایش دهد. علاوه بر این ضدیخ های قدیمی در دماهای نسبتاً بالا و پایین نمی توانند به طور مؤثر از یخ زدگی یا جوشیدن مایع جلوگیری کنند و گاهی عملکرد ضعیفی از خود نشان می دهند.

از همین رو و جهت کاهش و رفع عیوب و نقطه ضعف های مطرح شده، در سال های اخیر استفاده از نانوذرات در تولید ضدیخ به عنوان یک پیشرفت قابل توجه مطرح شده است [۹]. نانوذرات، به دلیل ابعاد بسیار کوچک و ویژگی های سطح مقطع منحصربه فردشان، می توانند به طور مؤثری در بهبود انتقال حرارت و کاهش اصطکاک در سیستم خنک کننده عمل کنند. این نانوذرات معمولاً از مواد مانند نقره، مس و یا اکسید های فلزی ساخته

می شوند و به افزایش کارایی حرارتی مایع کمک می کنند [۹]. این ویژگی ها به ویژه در شرایطی که موتور تحت فشار و بار سنگین قرار دارد، بسیار حائز اهمیت است. همچنین استفاده از نانوذرات در ضدیخ ها می تواند به کاهش خوردگی در سیستم خنک کننده خودروها کمک کند؛ چرا که نانوذرات مختلفی همچون اکسیدروی و نانوذرات کربنی می توانند به تشکیل یک لایه محافظ روی سطوح فلزی کمک کرده و سبب افزایش یخ زدایی (freezing reaction) و کاهش میزان خوردگی قطعات شوند [۱۰]. این ویژگی ها باعث افزایش عمر مفید قطعات داخلی و بهبود عملکرد کلی سیستم خنک کنندگی می شود.



شکل ۱- افزودن ضدیخ به رادیاتور خودرو

مزایا

از مهم ترین مزایای استفاده از ضدیخ های نانویی در خودروها، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

■ بهبود ضریب انتقال حرارت و کنترل دمایی

ضدیخ نانویی از نانوذراتی تشکیل شده است که به طور مؤثری هدایت حرارتی بالایی دارند. این به این معنی است که می توانند حرارت را به سرعت از موتور به رادیاتور منتقل کرده و از گرم شدن بیش از حد آن جلوگیری کنند [۱۰]. وقتی دما در بازه بهینه ای حفظ می شود، نیروی محرکه موتور و کارایی احتراق بهبود می یابد. در نتیجه این مورد مانع از افت عملکرد موتور و افزایش مصرف سوخت که ناشی از دمای غیر بهینه آن است، خواهد شد.

■ جلوگیری از خوردگی

افزودنی های نانویی که در ضدیخ ها استفاده می شوند، به واسطه اندازه کوچک و سطح بالای فعال سازی خود، می توانند به راحتی به سطوح فلزی نفوذ کرده و یک لایه محافظ بر روی آن ها تشکیل دهند [۱۱]. این لایه مانع از تماس مستقیم آب و عناصر فلزی با اکسیژن و دیگر عوامل خورنده می شود. از این رو، عمر مفید قطعات افزایش می یابد و هزینه های تعمیر و نگهداری به کمترین حد ممکن می رسد. همچنین این کاهش خوردگی خطر ناشی و خرابی های ناشی از زنگ زدگی را به طرز چشمگیری کاهش می دهد.

■ بهبود عملکرد موتور

ضدیخ نانویی با کنترل بهینه دما و کاهش خطرات ناشی از افزایش دمای زیاد (overheating)، موجب بهبود عملکرد احتراق موتور می شود [۱۲]. این شرایط به معنای احتراق کامل تر سوخت و افزایش کارایی آن است. در نتیجه، ایجاد گازهای آلاینده و مصرف سوخت کاهش می یابد که این امر نه تنها به حفاظت از محیط زیست کمک می کند بلکه می تواند به رانندگان کمک کند تا هزینه های سوخت خودرو خود را به طرز چشمگیری کاهش دهند.

■ کاهش هزینه ها

با کاهش احتمال آسیب های ناشی از دما و خوردگی، ضدیخ نانویی قادر است تا نیاز به تعمیرات مکرر و

هزینه های نگهداری را به حداقل برساند. از همین رو در طولانی مدت، این امکان را به مالکان خودرو می دهد که بر روی هزینه های جاری خود کنترل بیشتری داشته باشند و از بروز مشکلات جدی در سیستم خنک کننده که ممکن است منجر به هزینه های گزاف شود، جلوگیری کند.

همان طور که پیداست، ضدیخ نانویی نه تنها به عنوان یک مایع خنک کننده عمل می کند، بلکه به عنوان یک عامل کلیدی در حفظ سلامت و کارایی موتور خودرو نقش حیاتی ایفا می کند. بهره گیری از فناوری نانو در تولید ضدیخ های جدید، در موارد متعددی به ویژه در بهبود کارایی و کاهش آسیب های ناشی از دما و خوردگی، تأثیر به سزایی دارد. بنابراین اهمیت انتخاب و نگهداری صحیح این مایع در عملکرد کلی خودرو به وضوح مشهود است و می تواند تأثیر قابل ملاحظه ای بر کارایی و ماندگاری سیستم خنک کننده بگذارد. با توجه به پیشرفت های فناوری و بهبود کیفیت ضدیخ های نانویی، این گزینه به عنوان یک راهکار مؤثر و مدرن در صنعت خودروسازی شناخته شده و می تواند به بهبود عملکرد و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست کمک کند.



شکل ۲- مزایای استفاده از نانوذرات در ضدیخ ها

تحلیل هزینه-فایده استفاده از ضدیخ های نانویی

در جدول ۱ به مقایسه دو نوع ضدیخ نانویی و معمولی پایه هیبریدی موجود در بازار پرداخته شده است که تمامی مشخصات موجود در آن، در طی تماس با واحد فروش هر شرکت به دست آمده و ذکر شده اند.

جدول ۱- مشخصات دو نوع ضدیخ نانویی و معمولی

ردیف	نوع ضدیخ	پایه و نوع ضدیخ	ضریب انتقال حرارت (w/m.k)	میزان خوردگی (mm)	حجم ضدیخ (لیتر)
۱	ضدیخ نانویی	هیبریدی	۰٫۲۴-۰٫۳	۰٫۲-۰٫۳	۱
۲	ضدیخ معمولی	هیبریدی	۰٫۲-۰٫۲۵	۰٫۶-۰٫۸	۱

همان طور که از جدول ۱ پیداست، ضدیخ نانویی در حجم یکسان دارای ضریب انتقال حرارت بیشتری نسبت به مدل غیرنانویی است که این به نوبه خود یکی از بزرگ ترین مزیت های استفاده از این نوع ضدیخ هاست و آن را قادر می سازد تا ظرفیت انتقال حرارت بیشتری از خود نسبت به مدل غیرنانویی نشان دهد و از گرم و سرد شدن بیش از اندازه موتور جلوگیری نماید. از طرفی خوردگی معمولاً ابتدا در سطح مواد و آلیاژها آغاز می شود و می تواند تأثیرات منفی بر خواص مکانیکی و ساختاری آن ها داشته باشد. حال هرچقدر میزان خوردگی به عدد صفر نزدیک تر شود، نشان از عملکرد مناسب ضدیخ است. از همین رو، در صنایع خودروسازی اغلب از آلیاژهای آلومینیومی به دلیل سبکی و مقاومت در برابر زنگ زدگی استفاده می شوند. بنابراین به هنگام استفاده از ضدیخ، از آنجا که ممکن است ضدیخ اضافه شده حاوی ترکیبات خورنده ای باشد، میزان خوردگی بر روی سطح آلیاژ آلومینیوم مورد توجه قرار می گیرد که می تواند به تدریج به عمق آلیاژ نفوذ کرده و منجر به کاهش کیفیت و عمر

مفید قطعات شود. حال مطابق با جدول ۱، میزان خوردگی هنگام استفاده از ضدیخ نانویی در مقایسه با ضدیخ معمولی، به‌طور میانگین ۴٪ میلی‌متر (۱۸۰٪) افت داشته که حاکی از عملکرد بسیارخوب این محصول نانویی جهت جلوگیری از ایجاد خوردگی در قطعات و آلیاژهای آلومینیومی است.

در جدول ۲ لیست قیمت دو محصول ضدیخ نانویی و معمولی به ازای ۱ لیتر از هر محصول ذکر شده است که از اطلاعات آن می‌توان به‌عنوان مقایسه‌ای از نوع هزینه-فایده برای دو نوع ضدیخ معمولی و ضدیخ نانویی استفاده کرد.

جدول ۲- فرضیات تحلیل هزینه-فایده^۱

نوع	قیمت (تومان)
ضدیخ نانویی	۱۲۲,۰۰۰
ضدیخ معمولی	۱۲۲,۰۰۰

در جدول ۳ نیز به بررسی هزینه-فایده استفاده از دو نوع از ضدیخ نانویی و معمولی پرداخته شده است که شامل اطلاعاتی از قبیل قیمت، میانگین عمر مفید و میزان درصد حجمی بهینه شده این دو نوع محصول است. همچنین برای انجام مقایسه میزان عمر مفید و قیمت هر یک از ضدیخ‌های نانویی و معمولی، از رابطه درصد حجمی زیر استفاده می‌شود.

فرمول درصد حجمی بهینه شده برابر است با:

$$P_i = \frac{\sum C_w - \sum C_n}{\sum C_w} \times 100 \quad (1)$$

P_i : درصد حجمی بهینه شده در صورت استفاده از ضدیخ نانویی؛

C_w : هزینه موارد با فناوری نانو؛

C_n : هزینه موارد بدون فناوری نانو.

به‌عنوان مثال، درصد حجمی بهینه شده عمر مفید دو نوع ضدیخ نانویی و معمولی به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$P_i = \frac{100,000 - 80,000}{100,000} \times 100 = 20\% \quad (2)$$

جدول ۳- بررسی هزینه - فایده استفاده از ضدیخ‌های نانوساختار و غیرنانوساختار

نوع ضدیخ	حجم (لیتر)	قیمت کل (تومان)	میانگین عمر مفید (کیلومتر)	درصد حجمی بهینه شده	
				خرید ضدیخ	عمر مفید
ضدیخ نانوساختار	۱	۱۲۲,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰	۰	۲۰٪+
ضدیخ غیرنانوساختار	۱	۱۲۲,۰۰۰	۸۰,۰۰۰	۰	
اختلاف قیمت و عمر مفید				۰	۲۰,۰۰۰ کیلومتر

همان طور که از جدول ۳ پیداست، ضدیخ نانویی اختلاف قیمتی با ضدیخ های معمولی ندارد و قیمتی معادل با یکدیگر دارند، اما از طرفی کارایی و عمر مفید ضدیخ نانویی، به طور متوسط ۲۰ درصد بیشتر از ضدیخ معمولی است که اگر برای یک بازه ۴۰۰,۰۰۰ کیلومتری در یک خودروی سواری بخواهیم از دو نوع ضدیخ متفاوت مطابق با جدول ۳ استفاده کنیم، ضدیخ معمولی ۵ بار و ضدیخ نانویی ۴ بار بایستی تعویض شود که حاکی از ۱ بار صرفه جویی در خرید ضدیخ در صورت استفاده از مدل نانویی و یا به عبارتی بهتر صرفه جویی ۲۰ درصدی در تعویض همان ۱ نوع ضدیخ مطابق با رابطه زیر است:

$$(۳) \quad -۲۰\% = \frac{۴-۵}{۴} \times ۱۰۰ = \text{تفاوت تعداد تعویض ضدیخ نانویی و معمولی}$$

$$(۴) \quad ۴۸۸,۰۰۰ = ۴ \times ۱۲۲,۰۰۰ = \text{هزینه یک نوع ضدیخ نانویی به ازای ۴۰۰,۰۰۰ کیلومتر پیمایش}$$

$$(۵) \quad ۶۱۰,۰۰۰ = ۵ \times ۱۲۲,۰۰۰ = \text{هزینه یک نوع ضدیخ معمولی به ازای ۴۰۰,۰۰۰ کیلومتر پیمایش}$$

این بدین معنی است که به ازای هر ۴۰۰,۰۰۰ کیلومتر پیمایش از یک خودرو، در صورت استفاده از ضدیخ نانویی به جای ضدیخ معمولی، به میزان ۱۲۲,۰۰۰ تومان (به ارزش پول امروز) مطابق با رابطه زیر، صرفه جویی ارزی در خرید ضدیخ صورت گرفته است:

$$(۶) \quad C_1 = ۴ \times ۱۲۲,۰۰۰ = ۴۸۸,۰۰۰$$

$$(۷) \quad C_2 = ۵ \times ۱۲۲,۰۰۰ = ۶۱۰,۰۰۰$$

$$(۸) \quad \Delta C = ۶۱۰,۰۰۰ - ۴۸۸,۰۰۰ = ۱۲۲,۰۰۰$$

C_1 = هزینه ضدیخ نانویی برای یک خودرو به ازای ۴۰۰,۰۰۰ کارکرد
 C_2 = هزینه ضدیخ معمولی برای یک خودرو به ازای ۴۰۰,۰۰۰ کارکرد
 ΔC = تفاوت هزینه ضدیخ معمولی و نانویی برای یک خودرو به ازای ۴۰۰,۰۰۰ کارکرد

حال اگر مطابق با گزارش سازمان بین المللی سازندگان وسایل نقلیه موتوری در سال ۱۴۰۱، تعداد خودروهای فعال در ایران را معادل رقم ۲۱ میلیون دستگاه در نظر بگیریم، در صورت پیمایش ۴۰۰,۰۰۰ کیلومتر از هر یک خودروهای فعال و موجود در سطح کشور (تقریباً معادل ۱۳ سال کارکرد یک ماشین)، می توان میزان صرفه جویی ارزی (برحسب تومان) حاصل از استفاده از این نوع ضدیخ های نانویی را به شرح زیر محاسبه کرد [۱۳]:

$$(۹) \quad ۲,۵۶۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۱۲۲,۰۰۰ \times ۲۱,۰۰۰,۰۰۰ = \text{میزان تفاوت قیمت دو محصول نانویی و غیرنانویی}$$

این رقم به معنی این است که اگر فرض کنیم قیمت میانگین یک خودرو برقی حدود ۲۰,۰۰۰ یورو باشد و قیمت هر یورو نیز حدود ۶۵,۰۰۰ تومان در نظر گرفته شود، تنها با استفاده از مابه تفاوت ضدیخ نانویی و معمولی که به ازای پیمایش ۴۰۰,۰۰۰ کیلومتر تمامی خودروهای فعال در کشور مطابق با رابطه (۹) به دست آمده است، می توان تعداد ۱۹۷۰ عدد خودرو برقی به ناوگان حمل و نقل کشور اضافه کرد.

$$(۱۰) \quad ۲,۵۶۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۲۱,۰۰۰,۰۰۰ \times ۱۲۲,۰۰۰ = \text{میزان تفاوت قیمت ضدیخ نانویی و غیرنانویی}$$

$$(۱۱) \quad ۱۹۷۰ = (۲۰,۰۰۰ \times ۶۵,۰۰۰) \div ۲,۵۶۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = \text{تعداد خودرو برقی جدید خریداری شده}$$



شرکت ایرانی تولیدکننده ضدیخ نانویی

شرکت اکسیر سلامت باورن بهراد

نشانی: خراسان رضوی، مشهد، خیابان پیامبر اعظم (ص)، ۱۳، پلاک ۱۸، طبقه ۳

تلفن: ۰۵۱۳۷۲۳۵۰۱۱

رایانامه: behradexir@gmail.com

وبگاه: www.behradexir.com

پی‌نوشت

۱ قیمت‌ها مربوط به سال ۱۴۰۳ است.

منابع

- ۱ S. O. Oyedepo et al., "Numerical modeling of heat transfer performance and optimization of car radiator using $(\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ nanofluids as coolant," Numer. Heat Transf. Part B Fundam., vol. 82, no. 5, pp. 185–198, 2022, doi: 10.1080/10407790.2022.2083854.
- ۲ A. Khan et al., "Experimental investigation of enhanced heat transfer of a car radiator using ZnO nanoparticles in H_2O -ethylene glycol mixture," J. Therm. Anal. Calorim., vol. 138, no. 5, pp. 3007–3021, Dec. 2019, doi: 10.1007/S10973-019-08320-7/METRICS.
- ۳ H. M. Maghrabie and H. M. Mousa, "Thermal Performance Intensification of Car Radiator Using $\text{SiO}_2/\text{Water}$ and ZnO/Water Nanofluids," J. Therm. Sci. Eng. Appl., vol. 14, no. 3, Mar. 2022, doi: 10.1115/1.4051382/1109876.
- ۴ H. C. Duus, E. H. Keller, and H. M. Cadot, "Loss of Methanol Antifreeze in Automobile Cooling Systems," Ind. Eng. Chem., vol. 30, no. 2, pp. 142–145, Nov. 1938, doi: 10.1021/IE50338A005/ASSET/IE50338A005.FPENG_V03.
- ۵ L. Stajuda et al., "Composition, features, problems, and treatment related to cooling fluid - a review," Combust. Engines, vol. R. 63, nr 1, no. 1, pp. 106–125, 2024, doi: 10.19206/CE-169185.
- ۶ Y. Zhu, M. Zamani, G. Xu, D. Toghraie, M. Hashemian, and A. Alizadeh, "A comprehensive experimental investigation of dynamic viscosity of $\text{MWCNT-WO}_3/\text{water-ethylene glycol}$ antifreeze hybrid nanofluid," J. Mol. Liq., vol. 333, p. 115986, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.MOLLIQ.2021.115986.
- ۷ J. M. Chen, G. J. Leng, R. J. Yi, and B. Gao, "Development of an Organic Acid Antifreeze Coolant," Appl. Mech. Mater., vol. 716–717, pp. 130–132, Dec. 2015, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.716-717.130.
- ۸ E. R. Eaton, W. H. Boon, and C. J. Smith, "A Chemical Base for Engine Coolant / Antifreeze with Improved Thermal Stability Properties," SAE Tech. Pap., Mar. 2001, doi: 10.4271/2001-01-1182.
- ۹ Z. Said et al., "Enhancing the performance of automotive radiators using nanofluids," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 112, pp. 183–194, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.05.052.
- ۱۰ W. E. Ukueje, F. I. Abam, and A. Obi, "A Perspective Review on Thermal Conductivity of Hybrid Nanofluids and Their Application in Automobile Radiator Cooling," J. Nanotechnol., vol. 2022, no. 1, p. 2187932, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/2187932.
- ۱۱ N. H. Abu-Hamdeh, A. Karimipour, R. I. Hatamleh, and S. M. Sajadi, "Improve the rheological and thermal performances of the antifreeze liquids for cooling the batteries and radiators in automobiles via provide a new hybrid material composed from Carbon Nanotubes in Ethylene Glycol/Propylene Glycol," J. Energy Storage, vol. 52, p. 104982, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.EST.2022.104982.
- ۱۲ M. Hemmat Esfe, H. Rahimi Raki, M. R. Sarmasti Emami, and M. Afrand, "Viscosity and rheological properties of antifreeze based nanofluid containing hybrid nano-powders of MWCNTs and TiO_2 under different temperature conditions," Powder Technol., vol. 342, pp. 808–816, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.POWTEC.2018.10.032.
- ۱۳ <https://sdata.ir/articles/>