١١٤٥٧٧

T.M.U.
دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک–تبدیل انرژی

حل عددي جريان سه‌بعدي نانوسيال داخل كانال مستطيلي

مهران دودانگه

استاد راهنمای اوّل :

دکتر حسن خالقي

استاد راهنمای دوّم :

دکتر بهزاد قديري دهكردي

۱۳۸۸/۴/ ۱

زمستان ۱۳۸۷

۱۱۴۵۷۷

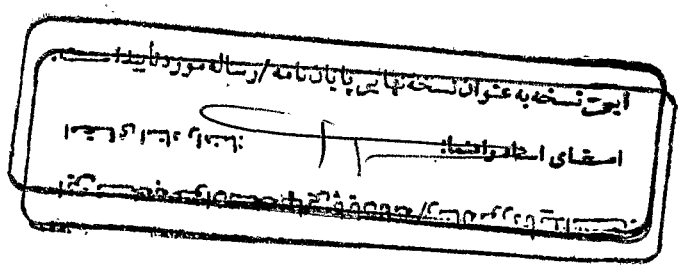
بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مهران دودانگه پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان حل عددی جریان سه بعدی نانوسیال داخل کانال مستطیلی** در تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر حسن خالقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی معرفت	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا انصاری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهرداد رئیسی دهکردی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدرضا انصاری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	



آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب دانشجوی رشته مقطع

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

۱۳۸۸/۲/۱۴

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

۱۳۸۸/۲/۱۴

تقدیم به

پدرم، که ایثار را زندگی کرد

مادرم، که در بیکران دریای مهربانیش غرقه گشتم

همسرم، که عشق را بر دلم حکّاکی کرد

و

هرآن‌که **کلمه‌ای** به من آموخت

تشکر و قدردانی

پر پرواز ندارم امّا،
دلی دارم و حسرتِ دُرناها.

داناست خدایی که به من نعمت **دانستن** عطا کرد.

بر خود لازم می‌دانم از **پدر و مادرم** به‌خاطر یک عمر فداکاری و رنجی که عاشقانه تحمل کردند تا فرصت دانستن داشته باشم، قدردانی و سپاس‌گذاری نمایم.

هم‌چنین از **دکتر بهزاد قدیری** و تمام دوستانم در آزمایشگاه *CFD*، به‌خاطر کمک‌هایشان تشکر می‌نمایم.

چکیده

در این تحقیق، جریان آرام نانوسیال‌ها در کانال‌های مربعی و مستطیلی به‌صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی می‌شود. ابتدا نحوه‌ی مدل‌سازی نانوسیال‌ها تشریح و مدل‌های مناسب برای بیان خواص نانوسیال‌ها از قبیل چگالی، ضریب گرمایی ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته‌ی دینامیکی انتخاب می‌گردد. یک کد سه‌بعدی با قابلیت حل معادلات ناویر-استوکس و معادله‌ی انرژی در مختصات کارتزین به‌روش حجم‌کنترل و بر مبنای الگوریتم سیمپل نوشته شده، و صحت عملکرد آن با نتایج تجربی مقایسه می‌شود. با اعمال مدل‌های مختلف مشخصات نانوسیال‌ها در کد، میدان‌های سرعت، فشار و گرمایی نانوسیال‌ها با کسرحجمی‌های مختلف در کانال‌هایی با ضریب منظرهای مختلف، به‌دست آورده می‌شود. نتایج حاصله، با نتایج سیال پایه مقایسه خواهندشد. در ادامه، اثرات کسرحجمی نانوذرات، مدل‌های مختلف ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال‌ها، عدد رینولدز، قطر نانوذرات و ضخامت نانولایه‌ی اطراف نانوذرات بر نتایج بررسی می‌شود. نتایج، بیانگر افزایش عدد ناسلت با استفاده از نانوسیال نسبت به سیال پایه می‌باشد. این افزایش با کسرحجمی نانوذرات و عدد رینولدز نسبت مستقیم دارد. هم‌چنین با کاهش قطر نانوذرات و افزایش ضخامت نانولایه‌ی اطراف آن‌ها، ضریب انتقال حرارت جابجایی افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: نانوسیال، کانال مستطیلی، سیمپل، ناسلت، ضریب منظر

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ه

فهرست جدول‌ها ..... ز

فهرست شکل‌ها ..... ح

فصل ۱— مقدمه ۱

۱-۱— ابعاد نانو ۱

۱-۲— نانوتکنولوژی ۱

۱-۳— چرا نانوتکنولوژی ؟ ۲

۱-٤— نانوسیال ۲

۱-٥— تفاوت در کاربرد نانوذرات و میکروذرات ۳

۱-٦— عوامل موثر بر پایداری و انتقال حرارت در نانوسیال‌ها ۳

۱-۷— کاربردهای نانوسیال ٤

۱-۸— تاریخچه‌ی نانوتکنولوژی ٤

۱-۹— آزمایش‌های تجربی انجام شده بر روی هدایت حرارتی نانوسیال‌ها ٥

۱—۹-۱- روش‌های اندازه‌گیری ٥

۱—۹-۲- بررسی اثر کسرحجمی ٦

۱-۱۰ - آزمایش‌های تجربی انجام شده بر روی ضریب پخش حرارتی نانوسیال‌ها ۸

۱-۱۱ - آزمایش‌های تجربی انجام شده بر روی ویسکوزیته‌ی نانوسیال‌ها ۹

۱-۱۲ - مطالعات تحلیلی انجام شده بر روی هدایت حرارتی نانوسیال‌ها ۱۱

۱—۱۳-۱- مکانیزم‌های افزایش هدایت حرارتی در نانوسیال‌ها ۱۱

۱—۱۳-۲- مدل‌های هدایت حرارتی در نانوسیال‌ها ۱۲

۱-۱۳- کارهای تجربی انجام شده بر روی انتقال حرارت جابجایی نانوسیال‌ها ۱۵
۱-۱٤- تحقیقات عددی انجام شده بر روی انتقال حرارت در نانوسیال‌ها ۱۷
۱-۱۵- جمع‌بندی ۱۸
فصل ۲- معادلات حاکم ۲۰
۲-۱- ارائه‌ی معادلات حاکم ۲۰
۲-۲- معادلات خواص نانوسیال ۲۲
۲-۲-۱- چگالی ۲۲
۲-۲-۲- ضریب گرمایی ویژه در فشار ثابت ۲۲
۲-۲-۳- ضریب انتقال حرارت هدایتی ۲۲
۲-۲-٤- ویسکوزیته‌ی دینامیکی ۲٤
۲-۲-۵- خواص نانوذرات ۲۵
فصل ۳- گسسته‌سازی معادلات حاکم ۲٦
۳-۱- هندسه و فیزیک مسأله ۲۷
۳-۲- روش حل عددی ۲۸
۳-۲-۱- شبکه‌ی جابجاشده ۲۸
۳-۲-۲- گسسته‌سازی معادلات ۳۱
۳-۳- شرایط مرزی ۳٦
۳-۳-۱- شرط مرزی ورودی ۳٦
۳-۳-۲- شرط مرزی خروجی ۳٦
۳-۳-۳- شرط مرزی دیواره ۳٦
فصل ٤- الگوریتم حل ۳۸
٤-۱-۱- کوپلینگ بین معادلات مومنتوم و انرژی ٤۰
٤-۲- ساختار کد ٤۰

٤-٣- زیرروال solver ٤٢

فصل ٥- صحت‌سنجی کد ٤٣

٥-١- استقلال نتایج از شبکه (Grid Independency) ٤٣

٥-٢- صحت‌سنجی نتایج برای کانال مربعی (Ar=1) ٤٥

٥-٢-١- میدان سرعت و فشار ٤٥

٥-٢-٢- میدان گرمایی ٤٩

٥-٣- صحت‌سنجی نتایج برای کانال مستطیلی (Ar=2) ٥٠

٥-٣-١- میدان سرعت و فشار ٥٠

٥-٣-٢- میدان گرمایی ٥٣

٥-٤- صحت‌سنجی نتایج برای کانال مستطیلی (Ar=5) ٥٤

٥-٤-١ میدان سرعت و فشار ٥٤

٥-٤-٢ میدان گرمایی ٥٧

٥-٥- اثر ضرایب مادون و مافوق رهایی ٥٨

فصل ٦- نتایج ٥٩

٦-١- جریان آرام نانوسیال در کانال مربعی(Ar=1) ٥٩

٦-١-١- اثر عدد رینولدز (Re) ٦١

٦-١-٢- اثر قطر نانوذرات (D_p) ٦٢

٦-١-٣- اثر ضخامت نانولایه‌ی اطراف نانوذرات ٦٥

٦-١-٤- اثر مدل‌های مختلف ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال ٦٦

٦-١-٥- اثر مدل‌های مختلف هدایت حرارتی نانوسیال ٦٧

٦-٢- جریان آرام نانوسیال در کانال مستطیلی (Ar=2) ٦٨

٦-٣- جریان آرام نانوسیال در کانال مستطیلی (Ar=5) ٦٩

٦-٤- اثر ضریب منظر کانال (Ar) ٧٠

فصل ۷- بحث و نتیجه‌گیری ۷۳

۷-۱- نتیجه‌گیری ۷۳

۷-۲- پیشنهادها ۷۵

فهرست مراجع ۷۶

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۷۹

واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۸۲

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
مولفه‌ی مختصات طولی کانال	x
مولفه‌ی مختصات عرضی کانال	y
مولفه‌ی مختصات عرضی کانال	z
تعداد نقاط شبکه در راستای طولی x	NI
تعداد نقاط شبکه در راستای عرضی y	NJ
تعداد نقاط شبکه در راستای عرضی z	NK
طول کانال در راستای طولی x	XL
طول کانال در راستای عرضی y	YL
طول کانال در راستای عرضی z	ZL
مولفه‌ی سرعت در راستای x	u
مولفه‌ی سرعت در راستای y	v
مولفه‌ی سرعت در راستای z	w
قطر هیدرولیکی	D_h
سرعت ورودی متوسط	U_{in}
فشار	P
دما	T
قطر نانوذرات	D_p
شعاع نانوذرات	r_p
ضخامت نانولایه	δ

کسرحجمی نانوذرات	φ or φ_v
کسرحجمی اطلاح‌شده‌ی نانوذرات	φ_T
چگالی	ρ
ویسکوزیته‌ی دینامیکی	μ
ضریب گرمایی ویژه در فشار ثابت	C_p
ضریب انتقال حرارت هدایتی	k
ضریب انتقال حرارت جابجایی	h
عدد رینولدز	Re
عدد پکلت	Pe
عدد ناسلت	Nu
اندیس معرّف سیال پایه	f
اندیس معرّف نانوذرات	p
اندیس معرّف نانوسیال	nf
اندیس معرّف نانولایه	l
ضریب منظر	Ar

فهرست جدول‌ها

عنوان | صفحه

جدول ۱-۱ : مدل‌های ضریب هدایت حرارتی نانوسیال‌ها [۱]..... ۱٤

جدول ۱-۲ : تحقیقات انجام شده بر روی انتقال حرارت جابجایی اجباری در نانوسیال‌ها [۱]..... ۱٦

جدول۲-۱: خواص نانوسیال مورد استفاده [۳۰]..... ۲۵

جدول۳-۱: تابع AP برای روش‌های مختلف [۳۱]..... ۳۵

جدول ٤-۱: زیر روال‌های کد کامپیوتری..... ٤۱

جدول ۵-۱: اثر ضرایب مادون و مافوق رهایی در حل میدان سرعت و فشار در کانال مربعی (Ar=1)..... ۵۸

جدول٦-۱: افزایش عدد ناسلت در کانال‌هایی با ضریب منظرهای مختلف..... ۷۰

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل ۱-۱: مقایسه نتایج تحقیقات تجربی انجام شده بر روی افزایش هدایت حرارتی نانوسیال‌ها [۱] ۷

شکل ۱-۲: تغییرات ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال با کسرحجمی نانوذرات [۱] ۱۱

شکل ۲-۱: شکل کروی نانوذرات آلومینیوم ۲۵

شکل ۳-۱: هندسه‌ی مسأله ۲۸

شکل ۳-۲: نمای دوبعدی از شبکه‌ی مورد استفاده [۳۲] ۲۹

شکل ۳-۳: نمای سه‌بعدی از شبکه‌بندی هندسه‌ی مساله ۲۹

شکل ۳-٤: نمای دوبعدی از شبکه‌بندی هندسه‌ی مساله ۳۰

شکل ۳-۵: شبکه‌بندی به‌روش قرارگیری سطوح حجم‌کنترل در وسط نقاط [۳۱] ۳۱

شکل ۳-٦: شبکه‌بندی به‌روش قرارگیری نقاط در وسط سطوح حجم‌کنترل [۳۱] ۳۱

شکل ۳-۷: نمای دوبعدی حجم‌کنترل مورد استفاده در گسسته‌سازی معادله‌ی کلی انتقال [۳۱] ۳۳

شکل ۳-۸: حجم‌کنترل در نزدیکی دیواره [۳۳] ۳۷

شکل ٤-۳: فلوچارت الگوریتم سیمپل(SIMPLE) ۳۹

شکل ٤-٤: روش حل خط‌به‌خط (Line by Line) در فضای سه‌بعدی[۳۳] ٤۲

شکل ۵-۱: بررسی استقلال پروفیل سرعت توسعه‌یافته از شبکه ٤٤

شکل ۵-۲: بررسی استقلال ناسلت موضعی از شبکه ٤٤

شکل ۵-۳: بررسی استقلال ناسلت موضعی از شبکه ٤۵

شکل ۵-۳: پروفیل سرعت توسعه‌یافته در میانه‌ی کانال مربعی (Ar=1) در صفحه‌ی X-Y ٤٦

شکل ۵-٤: مقایسه پروفیل سرعت توسعه‌یافته در میانه‌ی کانال مربعی (Ar=1) برای صفحات X-Y و X-Z ٤٦

شکل ۵-۵: تغییرات سرعت در خط میانی کانال مربعی (Ar=1) ٤٧
شکل ۵-٦: پروفیل سرعت توسعه‌یافته برای رینولدزهای مختلف در کانال مربعی (Ar=1) ٤٨
شکل ۵-۸: تغییرات فشار در طول کانال مربعی (Ar=1) ٤٩
شکل ۵-۹: ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٥٠
شکل ۵-۱۰: پروفیل سرعت توسعه‌یافته در میانه‌ی کانال مستطیلی (Ar=2) در صفحه X-Y ٥١
شکل ۵-۱۱: پروفیل سرعت توسعه‌یافته در میانه‌ی کانال مستطیلی (Ar=2) در صفحه X-Z ٥١
شکل ۵-۱۲: تغییرات سرعت در خط میانی کانال مستطیلی (Ar=2) ٥٢
شکل ۵-۱۳: تغییرات فشار در طول کانال مستطیلی (Ar=2) ٥٣
شکل ۵-۱٤: ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مستطیلی (Ar=2) ٥٤
شکل ۵-۱۵: پروفیل سرعت توسعه‌یافته در میانه‌ی کانال مستطیلی (Ar=5) در صفحه X-Y ٥٥
شکل ۵-۱٦: پروفیل سرعت توسعه‌یافته در میانه‌ی کانال مستطیلی (Ar=5) در صفحه X-Z ٥٥
شکل ۵-۱۷: تغییرات سرعت در خط میانی کانال مستطیلی (Ar=5) ٥٦
شکل ۵-۱۸: تغییرات فشار در طول کانال مستطیلی (Ar=5) ٥٧
شکل ۵-۱۹: ناسلت موضعی دما ثابت برای کانال مستطیلی (Ar=5) ٥٧
شکل ٦-۱: ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٦٠
شکل ٦-۲: جزئیات ناسلت دما ثابت در کانال مربعی در x=0.55 m (Ar=1) ٦٠
شکل ٦-۳: جزئیات ناسلت دما ثابت در کانال مربعی در x=8 m (Ar=1) ٦١
شکل ٦-٤: اثر عدد رینولدز بر ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٦٢
شکل ٦-٥: اثر قطر نانوذرات بر ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٦٣
شکل ٦-٦: تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانوسیال با شعاع نانوذرات [١٤] ٦٣
شکل ٦-۷: اثر قطر نانوذرات بر ضریب انتقال حرارت جابجایی در کانال مربعی (Ar=1) ٦٤
شکل ٦-۸: اثر ضخامت نانولایه بر ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٦٥
شکل ٦-۹: اثر ضخامت نانولایه بر ضریب انتقال حرارت جابجایی در کانال مربعی (Ar=1) ٦٦

شکل ٦-١٠: اثر مدل‌های مختلف ویسکوزیته بر ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٦٧

شکل ٦-١١: اثر مدل‌های مختلف ضریب هدایت حرارتی نانوسیال بر ناسلت موضعی دما ثابت در کانال مربعی (Ar=1) ٦٨

شکل ٦-١٢: ناسلت دما ثابت در کانال مستطیلی (Ar=2) ٦٩

شکل ٦-١٣: ناسلت دما ثابت در کانال مستطیلی (Ar=5) ٧٠

شکل ٦-١٤: ناسلت موضعی دما ثابت در ضریب منظرهای مختلف ٧١

شکل ٦-١٥: میدان فشار در ضریب منظرهای مختلف ٧٢

فصل ۱– مقدمه

۱-۱– ابعاد نانو

پیشوند نانو در اصل یک کلمه‌ی یونانی به معنی کوتوله و قدکوتاه است. این پیش‌وند در علوم، معادل یک میلیاردم است. لذا یک نانومتر برابر یک میلیاردم متر می‌باشد. به‌عنوان مثال، قطر یک تار موی انسان به طور متوسط چیزی حدود ۵۰۰۰ نانومتر و قطر یک سلول باکتری حدود چند صد نانومتر بوده و ۱۰ اتم هیدروژن فقط ۱ نانومتر عرض دارند. کوچک‌ترین ابعاد قابل دید توسط چشم غیرمسلح، حدود ۱۰۰۰۰ نانومتر است.

۱-۲– نانوتکنولوژی

نانوتکنولوژی را می‌توان ساخت وسایل با دقت اتمی و یا مولکولی تعریف کرد. در واقع قطعات با ابعاد کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر محصول نانوتکنولوژی می‌باشند.

نانو در واقع بیانگر مرز بین مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی است. نانوتکنولوژی انقلابی در قابلیت‌های مواد و ماشین‌آلات ایجاد نموده است. ساخت نانوماشین‌ها، قطعات نانوالکترونیکی و سایر ابزارها با بهره‌گیری از نانوتکنولوژی، بسیاری از مشکلاتی را که بشر با آنها مواجه بوده را حل نموده است.

۱-۳- چرا نانوتکنولوژی ؟

شاید این سوال به ذهن برسد که چه چیز در ابعاد نانو وجود دارد که موجب شده یک تکنولوژی بر پایه آن بنا نهاده شود. آنچه باعث ظهور نانوتکنولوژی شده، نسبت سطح به حجم بالای نانومواد است. این موضوع یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانو می‌باشد. در مقیاس نانو، اشیا شروع به تغییر رفتار می‌کنند و رفتار سطحی بر رفتار حجمی غلبه می‌کند. در این مقیاس برخی روابط فیزیک کلاسیک نقض می‌شود. به‌عنوان مثال، برای یک مدار الکترونیکی شامل سیم‌هایی با ضخامت نانومتری دیگر قانون اهم صادق نمی‌باشد. وقتی ضخامت سیم فقط به اندازه عبور یک یا چند الکترون باشد، الکترون‌ها لزوما در یک صف و به‌ترتیب در سیم جابجا می‌شوند. لذا در این سیم مقاومت الکتریکی به‌شدت کاهش می‌یابد. در حالی‌که ولتاژ و شدت جریان ثابت می‌باشد.

در واقع، در ابعاد نانو قوانین فیزیک کوانتم وارد صحنه می‌شوند و امکان کنترل خواص ذاتی ماده از جمله دمای ذوب، خواص مغناطیسی، ظرفیت بار و حتی رنگ مواد بدون تغییر در خواص شیمیایی ماده وجود خواهد داشت.

۱-۴-نانوسیال

فلزات در حالت جامد دارای ضریب انتقال حرارت هدایتی بزرگتری نسبت به سیال‌ها می‌باشند. به‌عنوان مثال، ضریب انتقال حرارت هدایتی یک قطعه‌ی مکعبی مس خالص در دمای محیط ۷۰۰ مرتبه بزرگتر از آب و ۳۰۰۰ مرتبه بزرگتر از روغن موتور می‌باشد. لذا سیالی که ذرات فلزی در آن معلق شده باشد، ضریب انتقال حرارت هدایتی بزرگتری نسبت به سیال اصلی خواهد داشت.

این نکته پایه‌ی اختراع جالبی تحت عنوان نانوسیال شد. نانوسیال، سیالی است که ذرات جامد نانومتری در آن معلق شده باشد.

در واقع، نانوسیال محلولی شامل یک سیال پایه و ذرات جامد معلق می‌باشد. به‌طور معمول سیال اصلی، آب و یا مایعات آلی می‌باشد. ذرات جامد، ذراتی با قطر حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر از اکسید فلزها (اکسید مس، اکسید آلومینیوم...)، ذرات فلزی(آلومینیوم، مس...)، و یا از جنس کربن می‌باشد.