بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(**M.Sc**)

گرایش: الکترونیک

عنوان:

مدل‌سازی و شبیه‌سازی حرکت نانولوله کربنی درون یک سیال قطبی تحت میدان الکترومغناطیسی

استاد راهنما:

دکتر علیرضا کاشانی‌نیا

استاد مشاور:

دکتر رضا صباغی ندوشن

پژوهشگر:

رضا خزاعی

زمستان ۹۰

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Technical & Engineering-Department of Electrical Engineering

“M.Sc” Thesis

On Electronic

Subject:

Modeling and Simulation of the Motion of Carbon Nanotube in a Polar Fluid under the Effect of Electromagnetic Field

Advisor:

Dr .Alireza Kashaninia

Reader:

Dr .Reza Sabbaghi-Nadooshan

By:

Reza Khazaei

Winter ۲۰۱۲

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از حمایت‌ها و مساعدت‌های بی‌دریغ اساتید محترم، جناب آقای دکتر کاشانی‌نیا و جناب آقای دکتر صباغی که در به ثمر رسیدن این اثر با تمام وجود من را یاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از خداوند منان توفیق روزافزون این مردان بی ادعا را آرزومندم.

تقدیم به:

همسر عزیز و مهربانم که در مدت اجرای این تحقیق بدون هیچ‌گونه دریغی، صبورانه از بنده حمایت نموده است. همچنین این تحفه ناچیز را به روح بزرگمردانی از جمله شهیدان علیمحمدی و احمدی روشن تقدیم می‌کنم و امیدوارم که قبول محضرشان گردد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

فصل دوم: کربن و اشکال مختلف آن در طبیعت و کاربردهای آن

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ گونه‌های مختلف کربن در طبیعت ۷

۲-۲-۱ کربن بی‌شکل ۷

۲-۲-۲ الماس ۸

۲-۲-۳ گرافیت ۸

۲-۲-٤ فلورن و نانولوله‌های کربنی ۸

۲-۲-۵ نانولوله کربنی تک‌دیواره ۱۱

۲-۲-٦ نانولوله کربنی چنددیواره ۱۲

۲-۳ توصیف هندسی نانولوله‌های کربنی ۱۳

۲-۳-۱ بردارهای پایه ۱۵

۲-۳-۲ بردار کایرال ۱٦

۲-۳-۳ زاویه‌ی کایرال ۱۷

۲-۳-٤ بردار انتقال ۱۷

۲-٤ کاربردهای نانولوله کربنی ۱۸

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ دی‌الکتروفوروز ۲۲

۳-۲ اساس پدیده‌ی دی‌الکتروفوروز ۲۲

۳-۳ نیروی دی‌الکتروفورتیک ۲۵

۳-٤ نرم‌افزار شبیه‌ساز کامسول ۲۷

۳-٤-۱ ماژول‌های نرم‌افزار کامسول ۳۰

۳-٤-۱-۱ ماژول AC/DC ۳۰

۳-٤-۱-۲ ماژول صوت‌شناسی ۳۰

۳-٤-۱-۳ ماژول مهندسی شیمی ۳۱

۳-٤-۱-٤ ماژول زمین شناسی ۳۱

۳-٤-۱-۵ ماژول انتقال گرمایی ۳۱

۳-٤-۱-٦ ماژول سیستم‌های میکروالکترومکانیکال ۳۱

۳-٤-۱-۷ ماژول RF ۳۲
۳-٤-۱-۸ ماژول مکانیک ساختاری ۳۲
۳-٤-۲ مراحل انجام شبیه‌سازی ۳۳

فصل چهارم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی

٤-۱ مقدمه ٤۰
٤-۲ مراحل اجراء شبیه‌سازی ٤۲
٤-۲-۱ مدل‌سازی و طراحی هندسه ٤۲
٤-۲-۲ تعریف ثابت‌ها و عبارات ٤۲
٤-۲-۳ تعریف فیزیک مسئله برای هر دو ماژول انتخاب شده ٤۵
٤-۲-۳-۱ تنظیمات فیزیک مربوط به زیرمیدان‌های ماژول AC/DC ٤۵
٤-۲-۳-۲ تنظیمات فیزیک مربوط به کرانه‌های هندسه در ماژول AC/DC ٤٦
٤-۲-۳-۳ تنظیمات فیزیک مربوط به زیرمیدان‌های ماژول مکانیک ساختاری ٤۷
٤-۲-٤ مش‌بندی ٤۷
٤-۲-۵ حل مسئله،محاسبه میزان جابجایی نانولوله کربنی و نمایش پارامترهای مورد نیاز ٤۹
٤-۲-۵-۱ نمایش سطحی ۵٤
٤-۲-۵-۲ نمایش پیکانی ۵٦
٤-۲-۵-۳ نمایش خطوط جریان ۵۷
٤-۲-۵-٤ نمایش ماکزیمم/مینیمم ۵۸
٤-۲-۵-۵ نمایش ردیابی ذره ٦۰
٤-۲-٦ اعمال نیروی بدست‌آمده به نانولوله کربنی ٦٤

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه ٦۷
۵-۲ بررسی چهار عامل مهم روی میزان و جهت حرکت نانولوله کربنی ٦۷
۵-۲-۱ اثر فرکانس ولتاژ ac اعمالی به میکروالکترودها ٦۷
۵-۲-۲ اثر ثابت دی‌الکتریک و رسانندگی الکتریکی ۸۷
۵-۲-۲-۱ بررسی اثر در محدودیت فرکانس پایین ۸۷
۵-۲-۲-۲ بررسی اثر در محدودیت فرکانس بالا ۹۳
۵-۲-۳ اثر ولتاژ بایاس ۹۹
۵-۲-٤ اثر فاصله میان میکروالکترودها ۱۱۷
۵-۳ نتیجه‌گیری ۱۳۷
۵-٤ پیشنهادات ۱٤۰
فهرست منابع ۱٤۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: شکل صفحات گرافیت ۹
شکل ۲-۲: نانولوله کربنی تک‌دیواره ۱۱
شکل ۲-۳: نانولوله کربنی چنددیواره ۱۲
شکل ۲-٤: صفحه‌ی گرافیت با بردارهای یکه‌ی $\vec{a}_1$ و $\vec{a}_2$ و همینطور بردار کایرال $\vec{C}_h$ ۱٤
شکل ۲-۵: نمایی از گرافین، نانولوله‌ی زیگزاگ، نانولوله‌ی دسته صندلی، نانولوله‌ی کایرال ۱٤
شکل ۳(a)-۱: ذره‌ای با قطبش‌پذیری بالا نسبت به محیط دربرگیرنده آن ۲٤
شکل ۳(b)-۱: ذره‌ای با قطبش‌پذیری پایین نسبت به محیط دربرگیرنده آن ۲٤
شکل ۳-۲: پنجره هدایتگر مدل ۲۹
شکل ۳-۳: ابزار طراحی نرم‌افزار کامسول ۳٤
شکل ۳-٤: پنجره پارامترهای نمایش ۳۸
شکل ٤-۱: هندسه طراحی‌شده برای شبیه‌سازی حرکت نانولوله‌کربنی پراکنده‌شده درون سیال ٤۰
شکل ٤-۲: انواع هندسه‌های مختلف برای بررسی حرکت نانولوله‌کربنی ٤۱
شکل ٤-۳: هندسه طراحی‌شده برای اجرای شبیه‌سازی حرکت نانولوله کربنی ٤۲
شکل ٤-٤: شرایط مرزی انتخاب شده برای هرکدام ازکرانه‌های موجود در هندسه ٤٦
شکل ٤-۵: هندسه بعد از عمل مش‌بندی به همراه تعداد المانهای انتخاب شده برای نانولوله کربنی و میکروالکترودها ٤۸
شکل ٤(a)-٦: نمایش سطحی پتانسیل الکتریکی در تمام هندسه ۵۵
شکل ٤(b)-٦: نمایش سطحی میدان الکتریکی در تمام هندسه ۵۵
شکل ٤-۷: نمایش پیکانی گرادیان اندازه میدان به توان۲ ..... ۵۷
شکل ٤-۸: نمایش خطوط جریان میدان الکتریکی در کل هندسه ۵۸
شکل ٤-۹: نمایش ماکزیمم/مینیمم میدان الکتریکی در هندسه ۵۹
شکل ٤-۱۰: نمایش سطحی، خطوط جریان و ماکزیمم/مینیمم میدان‌الکتریکی و نمایش پیکانی گرادیان اندازه میدان-الکتریکی به توان۲ بطور همزمان ٦۰
شکل ٤(a)-۱۱: میزان جابجایی و جهت حرکت نانولوله کربنی نیمه‌هادی در فرکانس ۱۰۰KHz ٦۲
شکل ٤(b)-۱۱: میزان جابجایی و جهت حرکت نانولوله کربنی فلزی در فرکانس ۱۰۰KHz ٦۲
شکل ٤(c)-۱۱: میزان جابجایی و جهت حرکت نانولوله‌کربنی نیمه‌هادی در فرکانس ۱e۱۰Hz ٦۳
شکل ٤(d)-۱۱: میزان جابجایی و جهت حرکت نانولوله‌کربنی فلزی در فرکانس ۱e۱۰Hz ٦۳
شکل ٤-۱۲: پنجره نمایش دیتا ٦۵
شکل ٤-۱۳: نقاطی که نیروی وارد برآنها برای بررسی حرکت نانولوله کربنی محاسبه می‌شود ٦۵

شکل (a)۵-۱: نمودار پارامتر $Re\{K_f\}$ نسبت به فرکـانس برای نانولوله کربـنی نیـمه‌هادی در محیـط ایزوپروپیل الکل ۷۰
شکل (b)۵-۱: نمودار پارامتر $Re\{K_f\}$ نسبت به فرکانس برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول ۷۱
شکل (c)۵-۱: نمودار پارامتر $Re\{K_f\}$ نسبت به فرکانس برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر ۷۱
شکل (d)۵-۱: نمودار پارامتر $Re\{K_f\}$ نسبت به فرکانس برای نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل..... ۷۲
شکل (e)۵-۱: نمـودار پارامتر $Re\{K_f\}$ نسبت به فرکانس برای نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول..... ۷۲
شکل (f)۵-۱: نمودار پارامتر $Re\{K_f\}$ نسبت به فرکانس برای نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر..... ۷۳
شکل ۵-۲: نمودار رسانندگی‌الکتریکی و ثابت دی‌الـکتریک نسبت به فرکـانس برای سه بافـت خون، چربی و ماهیـچه..... ۷٤
شکل ۵-۳: نمودار ثابت دی‌الکتریک نسبت به فرکانس برای شش بافت پوست خشک، پوست نرم، چربی، ماهیچه، استخوان و خون..... ۷٤
شکل (a)۵-٤: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل و فرکانس f_{*H} ۸۳
شکل (b)۵-٤: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول و فرکانس f_{*H}..... ۸۳
شکل (c)۵-٤: جهت و میـزان جابـجایی نانولوله کربنی نیـمه‌هادی در محیط آب مقطر و فرکانس f_{*H} ۸٤
شکل (d)۵-٤: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیـط خون و فرکانس ۵e۱۱Hz ۸٤
شکل (e)۵-٤: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل و فرکانس f_{*L}..... ۸۵
شکل (f)۵-٤: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول و فرکانس f_{*L}..... ۸۵
شکل (g)۵-٤: جهت و میـزان جابـجایی نانولوله کربنی نیـمه‌هادی در محیط آب مقطر و فرکانس f_{*L}..... ۸٦
شکل (a)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در IPA و فرکانس ۱Hz..... ۸۹
شکل (b)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در اتانول و فرکانس ۱Hz..... ۸۹
شکل (c)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در آب‌مقطر و فرکانس ۱Hz..... ۹۰
شکل (d)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در خون و فرکانس ۱۰Hz..... ۹۰
شکل (e)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در IPA و فرکانس ۱Hz ۹۱
شکل (f)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در اتانول و فرکانس ۱Hz ۹۱
شکل (g)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در آب‌مقطر و فرکانس ۱Hz ۹۲
شکل (h)۵-۵: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در خون و فرکانس ۱۰Hz..... ۹۲
شکل (a)۵-٦: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در IPA و فرکانس ۵e۱۰Hz..... ۹۵
شکل (b)۵-٦: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در اتانول و فرکانس ۵e۱۰Hz..... ۹۵
شکل (c)۵-٦: جهت و میـزان جابـجایی نانولوله کربنی نیـمه‌هادی در آب‌مقطر و فرکـانس ۵e۱۰Hz ۹٦
شکل (d)۵-٦: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در خون و فرکانس ۵e۱۱Hz ۹٦
شکل (e)۵-٦: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در IPA و فرکانس ۵e۱۱Hz..... ۹۷
شکل (f)۵-٦: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در اتانول و فرکانس ۵e۱۱Hz..... ۹۷

شکل (g)۵-۶: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در آب‌مقطر و فرکانس ۵e۱۱Hz..... ۹۸
شکل (h)۵-۶: جهت و میزان جابجایی نانولوله کربنی فلزی در خون و فرکانس ۵e۱۱Hz..... ۹۸
شکل (a)۵-۷: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۰
شکل (b)۵-۷: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۰۱
شکل (c)۵-۷: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۰۱
شکل (a)۵-۸: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۲
شکل (b)۵-۸: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۰۲
شکل (c)۵-۸: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۰۳
شکل (a)۵-۹: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۳
شکل (b)۵-۹: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۰۴
شکل (c)۵-۹: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۰۴
شکل (a)۵-۱۰: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۵
شکل (b)۵-۱۰: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۰۵
شکل (c)۵-۱۰: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۰۶
شکل (a)۵-۱۱: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۶
شکل (b)۵-۱۱: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۰۷
شکل (c)۵-۱۱: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۰۷
شکل (a)۵-۱۲: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۸
شکل (b)۵-۱۲: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۰۸
شکل (c)۵-۱۲: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۰۹
شکل (a)۵-۱۳: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۰۹
شکل (b)۵-۱۳: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۱۰
شکل (c)۵-۱۳: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۱۰
شکل (a)۵-۱۴: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط خون و ولتاژ بایاس ۱۰v..... ۱۱۱
شکل (b)۵-۱۴: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط خون و ولتاژ بایاس ۵۰v..... ۱۱۱
شکل (c)۵-۱۴: اثر تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط خون و ولتاژ بایاس ۱۰۰v..... ۱۱۲
شکل (a)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل..... ۱۱۳
شکل (b)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول..... ۱۱۳
شکل (c)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر..... ۱۱۴

شکل (d)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون ۱۱٤
شکل (e)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۱۵
شکل (f)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول ۱۱۵
شکل (g)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر ۱۱٦
شکل (h)۵-۱۵: نمودار میزان جابجایی نانولوله کربنی نسبت به تغییر پتانسیل برای نانولوله کربنی فلزی در محیط خون۱۱٦
شکل (a)۵-۱٦: اثر فاصله میان میکروالکترودها روی شدت میدان الکتریکی برای فاصله ۱um میان میکروالکترودها ۱۱۸
شکل (b)۵-۱٦: اثر فاصله میان میکروالکترودها روی شدت میدان الکتریکی برای فاصله ٦um میان میکروالکترودها ۱۱۹
شکل (c)۵-۱٦: اثر فاصله میان میکروالکترودها روی شدت میدان الکتریکی برای فاصله ۱۰um میان میکروالکترودها ۱۱۹
شکل (a)۵-۱۷: اثر فاصله میان میکروالکترودها روی شدت میدان الکتریکی در نوک میکروالکترودها برای فاصله ۱um میان میکروالکترودها ۱۲۰
شکل (b)۵-۱۷: اثر فاصله میان میکروالکترودها روی شدت میدان الکتریکی در نوک میکروالکترودها برای فاصله ٦um میان میکروالکترودها ۱۲۰
شکل (c)۵-۱۷: اثر فاصله میان میکروالکترودها روی شدت میدان الکتریکی در نوک میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um میان میکروالکترودها ۱۲۱
شکل (a)۵-۱۸: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۲۱
شکل (b)۵-۱۸: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۲۲
شکل (c)۵-۱۸: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۲۲
شکل (a)۵-۱۹: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول ۱۲۳
شکل (b)۵-۱۹: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول ۱۲۳

شکل (c)۵-۱۹: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط اتانول ۱۲٤
شکل (a)۵-۲۰: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر ۱۲٤
شکل (b)۵-۲۰: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر ۱۲۵
شکل (c)۵-۲۰: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط آب مقطر ۱۲۵
شکل (a)۵-۲۱: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون ۱۲٦
شکل (b)۵-۲۱: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون ۱۲٦
شکل (c)۵-۲۱: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی نیمه‌هادی در محیط خون ۱۲۷
شکل (a)۵-۲۲: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۲۷
شکل (b)۵-۲۲: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۲۸
شکل (c)۵-۲۲: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط ایزوپروپیل الکل ۱۲۸
شکل (a)۵-۲۳: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول..... ۱۲۹
شکل (b)۵-۲۳: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول ۱۲۹
شکل (c)۵-۲۳: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط اتانول ۱۳۰
شکل (a)۵-۲٤: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر ۱۳۰
شکل (b)۵-۲٤: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر ۱۳۱
شکل (c)۵-۲٤: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط آب مقطر ۱۳۱
شکل (a)۵-۲۵: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط خون..... ۱۳۲
شکل (b)۵-۲۵: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ٦um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط خون..... ۱۳۲
شکل (c)۵-۲۵: اثر فاصله میان میکروالکترودها برای فاصله ۱۰um، روی نانولوله کربنی فلزی در محیط خون..... ۱۳۳
شکل (a)۵-۲٦: نمایش پیکانی گرادیان اندازه میدان به توان۲ برای فاصله ۱um میان میکروالکترودها ۱۳٤

شکل (b)۵-۲۶: نمایش پیـکانی گرادیان اندازه میدان به توان۲ برای فاصله ٦um میان میکروالکترودها.....۱۳٤
شکل (c)۵-۲۶: نمایش پیـکانی گرادیان اندازه میدان به توان۲ برای فاصله ۱۰um میان میکروالکترودها.....۱۳۵
شکل (a)۵-۲۷: نمایش سطحی میدان الکتریکی برای فاصله ۳۰um میان میکروالکترودها ۱۳۵
شکل (b)۵-۲۷: نمایش خطوط جریان میدان الکتریکی برای فاصله ۳۰um میان میکروالکترودها ۱۳٦
شکل (c)۵-۲۷: نمایش پیکانی گرادیان اندازه میدان به توان ۲ برای فاصله ۳۰um میان میکر.الکترودها ۱۳٦

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: انواع حل‌کننده‌ها در نرم‌افزار کامسول..... ۳۶
جدول ٤-۱: ثابت‌های تعریف شده در شبیه‌سازی..... ٤٤-٤۳
جدول ٤-۲: عبارات تعریف شده در شبیه‌سازی..... ٤٥
جدول ٥-۱: فرکانس وارد شده برای هرحالت در برنامه ترسیم نمودار $\mathrm{Re}\{K_f\}$ نسبت به فرکانس..... ۷۸
جدول ٥-۲: میزان پارامتر $\mathrm{Re}\{K_f\}$ برای هردونوع نانولوله کربنی در محیط خون و در فرکانس‌های مختلف..... ۸۰
جدول ٥-۳: ثابت دی‌الکتریک و رسانندگی‌الکتریکی ٤ محیط مورد آزمایش و نانولوله‌های کربنی فلزی و نیمه-هادی..... ۸۸
جدول ٥-٤:مقایسه میان تحقیقات گذشته و تحقیق حاضر..... ۱۳۹

چکیده:

پس از کشف نانولوله‌های کربنی توسط ایجیما و همکارانش بررسی‌های زیادی روی این نانوساختارها انجام شده است. نانولوله‌های کربنی کاربردهای فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند که برجسته‌ترین آنها کاربرد پزشکی نانولوله کربنی در دارورسانی برای درمان بیماری‌هایی مانند سرطان می‌باشد. امروزه برای دارورسانی توسط نانولوله کربن از گیرنده‌های سلولی متصل به نانولوله حامل دارو استفاده می‌کنند که این روش از بهره بالایی برای رسیدن به هدف برخوردار نمی‌باشد، ازاینرو هدف اصلی ما در این تحقیق بدست آوردن روش‌هایی برای کنترل دقیق حرکت نانولوله کربنی و هدایت‌گری با دقت بالا برای انتقال نانولوله کربنی به یک موقعیت کاملاً مشخص در محیط‌هایی با ابعاد میکرو و نانومتر می‌باشد. برای حرکت نانولوله کربنی درون محیط سیال از تئوری دی-الکتروفوروز بهره گرفته‌ایم. برطبق این اثر هنگامی که یک ذره تحت میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، از سوی میدان یک گشتاور دو قطبی در ذره القاء و درنتیجه یک نیروی خالص بر آن وارد می‌شود. در تحقیق حاضر از دو نوع نانولوله کربنی فلزی و نیمه‌هادی و ٤ محیط ایزوپروپیل الکل، اتانول، آب مقطر و خون که نانولوله کربنی در آن‌ها پراکنده است، استفاده می‌کنیم. درتحقیق حاضر ٤ اثر مهم را مورد بررسی قرار داده‌ایم تا توسط کنترل آنها بتوانیم میزان جابجایی نانولوله کربنی را تا حداکثر ممکن کاهش دهیم. این اثرها عبارتند از: اثر فرکانس ولتاژ ac اعمالی به میکروالکترودها، اثر ثابت دی‌الکتریک و رسانندگی الکتریکی محیط و نانولوله کربنی در محدودیت‌های فرکانس بالا و پایین، ولتاژ بایاس اعمالی به میکروالکترودها و فاصله میان میکروالکترودها.

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

کربن با عدد اتمی ٦ در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد، این عنصر ترکیب اصلی موجودات زنده را در بر گرفته است بنابراین بیشتر دانشمندان سعی می‌کنند ترکیبات کربنی را بررسی کنند. گونه‌های متفاوتی از کربن وجود دارد که تفاوت این گونه‌ها صرفاً به شکل گیری اتم‌های کربن نسبت به هم یا به ساختار شبکه‌ای آن‌ها بر می‌گردد، یکسری از این گونه‌ها نانولوله کربنی تک‌دیواره نیمه‌هادی[۱]، نانولوله‌کربنی تک‌دیواره فلزی[۲]، نانولوله‌کربنی چند دیواره نیمه‌هادی[۳] و نانولوله‌کربنی چند دیواره فلزی[٤] می‌باشند که به علت اندازه کوچکشان، قدرت مکانیکی بالا، توانایی حمل جریان بالا، خصوصیات گرمایی ممتاز و خصوصیات الکترونیکی و الکتریکی برجسته‌شان توجهات زیادی را به خودشان جلب کرده‌اند و ازاینرو یک ماده امیدبخش در نانوتکنولوژی، الکترونیک و اپتیک به‌حساب می‌آیند. نانولوله‌های کربنی کاربردهای فراوانی دارند که یکی از برجسته‌ترین آنها کاربرد پزشکی نانولوله‌های کربنی می‌باشد. نانولوله‌های کربنی در تحقیقات پزشکی دنیای امروزی خیلی رایج شده-اند و در زمینه کارآمدی روش‌های دارورسانی[٥]، حس‌کردن زیستی و نمایش گلوکز خون برای معالجه مرض و آگاهی پیداکردن از سلامتی تحقیقات عالی روی نانولوله‌های کربنی انجام شده‌است. امروزه برای درمان امراضی مانند سرطان از روش‌های مختلفی مانند جراحی، پرتودرمانی، شیمی‌درمانی و دارورسانی سنتی استفاده می‌شود. روش‌های جراحی، پرتودرمانی و شیمی‌درمانی معمولاً دردناک می-باشند و سلول‌های عادی و سالم را نیز به‌همراه سلول‌های سرطانی از بین می‌برند و بعلاوه اثرات

---

[۱]-Semiconducting Single Wall Carbon nanotubes (SSWCNTs)
[۲]-Metallic Single Wall Carbon nanotubes (MSWCNTs)
[۳]-Semiconducting Multi Wall Carbon nanotubes (SMWCNTs)
[٤]-Metallic Multi Wall Carbon nanotubes (MMWCNTs)
[٥]-drug delivery

جانبی مضری نیز برجای می‌گذارند ازاینرو این روش‌ها از کارآمدی بالایی برخوردار نمی‌باشند. در روش دارورسانی سنتی بدلیل اینکه غلظت دارو آزاد شده در خون بلافاصله پس از مصرف از حد سمیت بالاتر می‌باشد و بعد از مدتی به کمترین سطح موثر کاهش می‌یابد، ممکن است اثربخشی لازم را نداشته باشد.

امروزه نانولوله‌های کربنی به عنوان وسیله‌ای برای دارورسانی نشان داده‌اند که پتانسیل بالایی را در هدف‌گیری سلول‌های سرطانی با یک مقدار دارو تجویز شده کمتر نسبت به روش‌های سنتی استفاده از دارو دارا می‌باشند. مزیت این روش به روش‌های ذکرشده کاهش اثرات جانبی، تفکیک-پذیری میان سلول‌های سرطانی و سالم و درنتیجه کشتن تنها سلول‌های سرطانی و جلوگیری از آسیب‌رسیدن به سلول‌های سالم می‌باشد.

برای بهره‌گیری از کاربرد دارورسانی توسط نانولوله‌های کربنی نیاز به تنظیم، دستکاری و جابجایی نانولوله‌کربنی به یک موقعیت مشخص می‌باشد. امروزه برای جابجایی نانولوله‌های کربنی از دو روش میکروسکوپی نیروی هسته‌ای[۶] و اتصال گیرنده سلولی روی نانولوله‌کربنی استفاده می‌شود که این روش‌ها برای جابجایی بسیار دقیق نانولوله‌کربنی و همچنین هدایت‌گری نانولوله‌کربنی به یک موقعیت کاملاً مشخص از بازدهی کمی برخوردار می‌باشند.

ازاینرو هدف ما بهبود هدایت‌گری نانولوله‌کربنی، که می‌تواند حامل دارو و یا فاقد دارو باشد، از یک موقعیت به موقعیت مشخص دیگر و جابجایی دقیق نانولوله‌کربنی می‌باشد که برای رسیدن به این هدف از اثر میدان‌الکتریکی روی ذرات که به پدیده دی‌الکتروفوروز[۷] مشهور است، استفاده می‌کنیم. دراین اثر توسط یک میدان الکتریکی خارجی یک نیروی خالص به ذرات درون یک سیال وارد شده و این نیرو باعث جابجایی ذرات درون سیال به سمت منبع تولیدکننده میدان الکتریکی و یا به سمت منطقه‌ای دور از منبع تولیدکننده میدان الکتریکی می‌شود. از آنجایی که هدف ما هدایت‌گری صحیح و جابجایی دقیق نانولوله‌کربنی درون سیال می‌باشد، اثراتی را که می‌توانند

[۶] -Atomic Force Microscopy (AFM)
[۷] -Dielectrophoresis (DEP)

برروی جابجایی نانولوله‌کربنی درون سیال موثر باشند را مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهیم. همچنین در کاربرد دارورسانی هدف حرکت نانولوله‌کربنی حامل دارو درون رگ‌های خونی بدن و انتقال نانولوله‌کربنی حامل دارو به سمت سلول هدف می‌باشد، ازاینرو حرکت نانولوله‌های کربنی را در محیط خون که یک سیال قطبی می‌باشد بررسی نموده و جابجایی نانولوله‌کربنی را در این سیال با ۳ سیال مهم دیگر به‌نام‌های ایزوپروپیل الکل[۸] ، اتانول[۹] و آب مقطر[۱۰] مورد مقایسه قرار می‌دهیم.

ساختارکلی این پایان‌نامه به این‌صورت است که در فصل دوم گونه‌های مختلف کربن ازجمله نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و چند دیواره را مورد مطالعه قرار می‌دهیم و نانولوله‌های کربنی را از لحاظ هندسی دسته‌بندی کرده و ازنگاه ریاضی آنها را بررسی می‌کنیم و کاربردهای مهم این گونه کربنی را معرفی نموده و برروی کاربرد پزشکی آنها مخصوصاً در عمل دارورسانی توسط نانولوله‌های کربنی حامل دارو متمرکز می‌شویم. در فصل سوم اثر میدان الکتریکی روی ذرات کروی و بیضی‌وار کشیده‌شده که مشهور به پدیده دی‌الکتروفوروز می‌باشد و همچنین نیروی وارد بر ذرات توسط اعمال میدان الکتریکی را مطالعه می‌کنیم و در ادامه فصل به توضیح نرم‌افزار شبیه‌ساز کامسول[۱۱] می‌پردازیم که در تحقیق حاضر از آن برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی حرکت نانولوله کربنی درون سیال تحت میدان الکتریکی تولیدشده توسط میکروالکترودها استفاده می‌شود. فصل چهارم را به نحوه مدل‌سازی و شبیه‌سازی مسئله خود اختصاص داده‌ایم و در آن مدل پیشنهادی طرح و سایر مدل‌های دیگر و همچنین شبیه‌سازی و حل مسئله و نمایش پارامترهای مورد نظر را به صورت مرحله به مرحله ارائه خواهیم کرد. در فصل پنجم اثر پارامترهای ثابت دی‌الکتریک[۱۲] و رسانندگی-الکتریکی[۱۳] محیط و نانولوله کربنی، ولتاژ بایاس میکروالکترودها و فاصله میان میکروالکترودها را در میزان جابجایی نانولوله کربنی در ٤ سیال مورد آزمایش را بررسی و مقایسه می‌کنیم و اثر پارامتر

[۸] -Isopropyl Alcohol (IPA)
[۹] -Ethanol
[۱۰] -Distilled water
[۱۱] -Camsol Multiphysics
[۱۲] -Permittivity
[۱۳] -Conductivity

فرکانس را که بشدت روی میزان جابجایی و ازهمه مهمتر جهت جابجایی نانولوله کربنی موثر می-باشد در ٤ سیال ایزوپروپیل الکل، اتانول، آب‌مقطر و خون مورد مطالعه قرار داده و نتایج این پارامترها را بررسی می‌کنیم، همچنین در این فصل پیشنهاداتی برای تحقیقات سایر محققین ارائه خواهدشد.