

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده شیمی

گروه شیمی تجزیه

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی تجزیه

عنوان

بررسی رفتار الکتروشیمیایی و اندازه گیری ال - تیروزین بر روی الکتروود سل - ژل اصلاح شده
با نانولوله های کربنی

استاد راهنما

دکتر میر رضا مجیدی

استاد مشاور

دکتر حسین داستانگو

پژوهشگر

سعید خردپرور

شهریور ۹۲

با تقدیر و تشکر از:

- جناب آقای دکتر میر رضا مجیدی به خاطر سرپرستی و راهنمایی‌های ارزنده‌شان در طول مراحل

انجام پایان‌نامه

- جناب آقای دکتر حسین داستانگو به خاطر راهنمایی‌های سازنده‌شان
- جناب آقای دکتر اسدپور به خاطر قبول زحمت داوری
- جناب آقای دکتر محمد امجدی، مدیریت محترم گروه شیمی تجزیه
- جناب آقای دکتر حسینی ریاست محترم دانشکده شیمی
- جناب آقای دکتر ارسلائی معاونت محترم آموزشی دانشکده شیمی
- جناب آقای دکتر نجار معاونت محترم پژوهشی دانشکده شیمی
- اساتید محترم دانشکده شیمی که در مراحل مختلف تحصیل از محضر ایشان بهره‌مند شده‌ام
- کارکنان محترم دانشکده در بخش‌های مختلف اداری، آموزشی و خدماتی
- دوستان هم‌آزمایشگاهی خانم مهدی پور و قادری و آقای فداکار

تقدیم به پدر و مادر مهربانم:

به نام مادر

بوسه ای باید زد

دست هایی را

می شویند غبار خستگی روزگار را

و سیراب می کنند روح تشنه را

به نام پدر

بوسه ای باید زد

دست هایی را که می تابانند

نیرو را

و محکم می کنند

استواری پایه های زیستن را

نام خانوادگی: خردپرور	نام: سعید
عنوان پایان نامه: بررسی رفتار الکتروشیمیایی و اندازه گیری ال - تیروزین بر روی الکتروود سل - ژل اصلاح شده با نانولوله های کربنی	
استاد راهنما: دکتر میر رضا مجیدی	استاد مشاور: دکتر حسین داستانگو
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: شیمی
دانشگاه: تبریز	دانشکده: شیمی
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۹۲	تعداد صفحه: ۶۵
کلید واژه ها: تیروزین ، سل - ژل، نانولوله های کربنی، الکتروود اصلاح شده، ولتامتری چرخه ای ولتامتری پالس تفاضلی،	
<p style="text-align: center;">چکیده</p> <p>ال- تیروزین یک اسید آمینه نیمه ضروری است و جزء اصلی تشکیل دهنده ی برخی پروتئین ها در بدن انسان است که برای حفظ و برقراری تعادل نیتروژن ضروری است. این اسید آمینه در سنتز انتقال دهنده های عصبی و هورمون هایی مانند دوپامین، اپی نفرین، ملانین و تیروئید حضور دارد و کمبود این اسید آمینه باعث بیماری هایی مانند زالی و آلکاپتونوریا می شود.</p> <p>رفتار الکتروشیمیایی تیروزین روی الکتروود سل - ژل اصلاح شده با نانولوله های کربنی با استفاده از تکنیک ولتامتری چرخه ای مورد بررسی قرار می گیرد. پیک اکسایش تیروزین در الکتروود سل - ژل برهنه در ۶۷ میلی ولت قرار دارد در حالی که پیک اکسایش در الکتروود اصلاح شده در ۵۷ میلی ولت و با افزایش میزان جریان ظاهر می شود. بررسی های ولتامتری نشان داد که اکسایش تیروزین روی الکتروود سل - ژل اصلاح شده برگشت ناپذیر است. محدوده خطی غلظتی تیروزین $M \times 10^{-6} - 26 \times 10^{-7}$ و حد تشخیص آن $M \times 10^{-7} \times 2/07$ که با استفاده از تکنیک ولتامتری پالس تفاضلی به دست آمده است. در این پژوهش اثرات pH و سرعت روبش پتانسیل نیز بررسی شد. خصوصیات این الکتروود عبارتند از: هزینه پایین، آماده سازی ساده، پاسخ دهی سریع، پایداری حساسیت و تکرارپذیری بالا. این الکتروود برای اندازه گیری تیروزین در سرم خون استفاده شد.</p>	

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

- ۱-۱- مقدمه ۱
- ۲-۱- الکترودهای اصلاح شده و جایگاه آن در الکتروشیمی تجزیه ای ۲
- ۳-۱- فرایند سل - ژل ۳
- ۱-۳-۱ نحوه ی تهیه سل - ژل ۴
- ۲-۳-۱ مزایا و کاربردهای سل - ژل ۶
- ۴-۱- نانو لوله های کربنی ۶
- ۱-۴-۱ روشهای تولید نانولوله های کربنی ۷
- ۲-۴-۱ ساختار نانولوله ها ۸
- ۳-۴-۱ ویژگی نانو لوله های کربنی ۸
- ۴-۴-۱ تصفیه نانولوله ها ۹
- ۵-۴-۱ کاربردهای نانولوله های کربنی ۹
- ۶-۴-۱ الکتروشیمی نانولوله های کربنی ۹
- ۵-۱- اسیدهای آمینه ۱۰
- ۶-۱- اسید آمینه تیروزین ۱۲
- ۷-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه تجزیه تیروزین ۱۳
- ۱-۷-۱ روش های جداسازی ۱۳
- ۲-۷-۱ روش های اسپکتروسکوپی ۱۵

- ۱-۷-۳- روش های الکتروشیمیایی..... ۱۸
- ۱-۸- اهداف پژوهش حاضر..... ۲۱

فصل دوم: مواد و روش ها

- ۲-۱- معرف ها و مواد شیمیایی..... ۲۳
- ۲-۲- دستگاهوری ۲۴
- ۲-۳- الکترودهای به کار رفته ۲۴
- ۲-۴- پیش تیمار نانولوله های کربنی ۲۵
- ۲-۵- تهیه محلول یکنواخت و همگن نانولوله های کربنی ۲۵
- ۲-۶- تهیه الکتروده سل - ژل اصلاح شده ۲۶
- ۲-۷- اندازه گیری ولتامتری چرخه ای تیروزین ۲۶
- ۲-۸- ولتامتری پالس تفاضلی ۲۶
- ۲-۹- کرنوآمپرومتری ۲۷
- ۲-۱۰- آماده سازی نمونه حقیقی ۲۷

فصل سوم: نتایج و بحث

- ۳-۱- بررسی رفتار الکتروشیمیایی تیروزین بر روی الکتروده سل - ژل ۲۸
- ۳-۲- خصوصیات ریخت شناسی سطح الکتروده سل - ژل اصلاح شده با نانولوله های کربنی..... ۲۹
- ۳-۳- بهینه سازی پارامترهای مختلف موثر در اندازه گیری تیروزین در سطح الکتروده اصلاح شده ۳۱
- ۳-۳-۱- بررسی تاثیر pH محیط ۳۱
- ۳-۳-۲- بررسی اثر نوع بافر ۳۲
- ۳-۳-۳- بررسی غلظت بافر ۳۳

- ۳-۳-۴- بهینه سازی مقدار اصلاح گر..... ۳۴
- ۳-۳-۵- بررسی اثر سرعت روبش پتانسیل بر جریان و پتانسیل دماغه اکسایش تیروزین ۳۶
- ۳-۳-۵-۱- اثر سرعت روبش پتانسیل بر جریان دماغه اکسیداسیون تیروزین و تشخیص ماهیت جریان الکترودی. ۳۷
- ۳-۳-۵-۲- تخمین تعداد الکترون های شرکت کننده در مرحله تعیین کننده سرعت در الکترواکسایش تیروزین.. ۳۸
- ۳-۴-۴- مطالعه اکسایش الکتروکاتالیزی تیروزین به روش کرنوآمپرومتری..... ۴۲
- ۳-۴-۱- محاسبه ی ضریب انتشار تیروزین ۴۳
- ۳-۵-۵- بررسی رفتار ولتامتری پالس تفاضلی تیروزین بر روی الکتروود اصلاح شده ۴۵
- ۳-۶-۶- تاثیر غلظت تیروزین بر جریان اکسایشی آن با استفاده از ولتامتری چرخه ای ۴۷
- ۳-۷-۷- حد تشخیص تکنیک های تجزیه ای..... ۴۸
- ۳-۷-۱- تعیین حد تشخیص روش ولتامتری پالس تفاضلی..... ۴۹
- ۳-۷-۲- تعیین حد تشخیص روش ولتامتری چرخه ای ۵۰
- ۳-۸-۸- بررسی تجدیدپذیری پاسخ الکتروود سل - ژل اصلاح شده..... ۵۱
- ۳-۹-۹- اندازهگیری تیروزین در نمونه ی حقیقی سرم خون به روش ولتامتری پالس تفاضلی ۵۳
- ۳-۱۰-۱۰- بررسی صحت روش ۵۵
- نتیجه گیری..... ۵۷
- پیشنهادهایی برای ادامه ی کار پژوهشی..... ۵۸
- منابع ۵۹

فهرست شکل ها

فصل اول

شکل ۱-۱. شکل عمومی یک اسید آمینه ۱۰

شکل ۲-۱. ساختار مولکولی تیروزین ۱۲

فصل سوم

شکل ۱-۳. ولتاموگرام های چرخه ای الکتروود سل - ژل ۲۹

شکل ۲-۳. تصاویر SEM الکتروود سل - ژل. ۳۰

شکل ۳-۳. نمودار (A) تغییرات پتانسیل دماغه اکسایش تیروزین ۳۲

شکل ۴-۳. ولتاموگرام چرخه های الکتروود سل - ژل اصلاح شده ۳۳

شکل ۵-۳. تغییرات جریان دماغه ولتاموگرام ۳۴

شکل ۶-۳. تغییرات جریان دماغه آندی ولتاموگرام چرخه ای ۳۵

شکل ۷-۳. ولتاموگرام چرخه ای الکتروود سل - ژل ۳۶

شکل ۸-۳. نمودار تغییرات جریان دماغه آندی ۳۸

شکل ۹-۳. نمودار تافل به دست آمده از آنالیز داده های ۴۰

شکل ۱۰-۳. نمودار تغییرات پتانسیل دماغه آندی تیروزین ۴۱

شکل ۱۱-۳. کرنو آمپروگرام های الکتروود اصلاح شده ۴۴

شکل ۱۲-۳. نمودار I بر حسب $t^{-1/2}$ به دست آمده از کرنو آمپروگرام شکل (۱۱-۳). ۴۴

شکل ۱۳-۳. نمودار تغییرات شیب خطوط $(I-t^{-1/2})$ ۴۵

شکل ۱۴-۳. ولتاموگرام های پالس تفاضلی الکتروود سل - ژل ۴۶

شکل ۱۵-۳. نمودار تغییرات جریان دماغه ولتاموگرام ۴۶

شکل ۱۶-۳. نمودار (A) ولتاموگرام های چرخه ای الکتروود سل - ژل ۴۷

شکل ۱۷-۳. ولتاموگرام چرخه ای الکتروود سل - ژل ۵۲

شکل ۱۸-۳. نمودار (A) ولتاموگرامهای پالس تفاضلی الکتروود سل - ژل ۵۴

فهرست جداول

فصل دوم

جدول ۱-۲. مشخصات مواد شیمیایی به کار رفته ۲۳

فصل سوم

جدول ۱-۳. داده های آماری وابسته به اجرای روش ولتامتری پالس تفاضلی بایکارگیری الکتروود اصلاح شده ۵۰

جدول ۲-۳. داده های آماری وابسته به اجرای روش ولتامتری چرخه ای با بکارگیری الکتروود اصلاح شده ۵۱

جدول ۳-۳. مقادیر جریان دماغه‌های ولتامتری ۵۳

جدول ۴-۳. نتایج حاصل از سه بار آنالیز سرم خون ۵۵

جدول ۵-۳. نتایج مربوط به اندازه گیری مقدار تیروزین ۵۶

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- مقدمه

اجرای روش های ولتامتری به شدت تحت تاثیر مواد الکتروود کار قرار می گیرند. الکتروود کار باید ویژگی هایی مانند نسبت جواب به نوفه ی بزرگ و نیز پاسخ تکرارپذیر را فراهم آورد. بنابراین، انتخاب آن در وهله ی اول به دو عامل بستگی دارد: رفتار ردوکس ماده آزمایشی مورد نظر و جریان زمینه در محدوده ی پتانسیل لازم برای اندازه گیری. امروزه الکتروود های جامد به صورت گسترده ای در کارهای تجزیه ای استفاده می شوند. یک نوع از این الکتروود ها الکتروودهای فلزی هستند در حالی که انتخاب گسترده ای از فلزات نجیب امکان پذیر است، پلاتین و طلا در الکتروود های فلزی بیشترین کاربرد را دارند. این چنین الکتروود هایی سنتیک انتقال الکترونی مناسب و محدوده ی پتانسیلی بزرگی را فراهم می کنند اما دو مشکل بزرگ آن ها عبارتند از پایین بودن فوق پتانسیل هیدروژنی در این الکتروودها، که محدوده ی پتانسیل کاتدی را محدود می کند و مشکل جدی تر، وجود جریان های زمینه بالا مربوط به تشکیل اکسید سطحی یا لایه های هیدروژن جذب سطحی شده می باشد. امروزه، الکتروودهای بر پایه کربن در سطح وسیعی جهت تجزیه ی الکتروشیمیایی مورد استفاده قرار می گیرند. این امر به دلیل دامنه ی وسیع پتانسیل آن ها با جریان زمینه ای کمتر، ارزان قیمت بودن، بی اثری شیمیایی، مناسب بودن آن ها برای کاربرد های حسی و تشخیصی می باشد. در مقابل، سرعت های انتقال الکترون مشاهده شده در سطوح کربنی، اغلب از سرعت های مشاهده شده در الکتروود های فلزی کمتر می باشد. فعالیت انتقال الکترونی به شدت از منشأ و تاریخچه سطح کربن متأثر می شود. در حالی که اغلب الکتروودهای با مواد کربنی از ساختاری بر اساس حلقه های آروماتیک شش عضوی و پیوند sp^2 برخوردارند، از لحاظ تراکم نسبی لبه ها و صفحات قاعده در سطوح خود از یکدیگر اختلاف دارند. جهت گیری لبه در گرافیت، بیشتر از سطح قاعده در برابر انتقال الکترون و جذب سطحی فعال است. بنابراین مواد کربنی با نسبت لبه بر سطح قاعده متفاوت، در برابر گونه ردوکس معین، سینتیک انتقال بار متفاوتی را نشان می دهند [۱].

۱-۲- الکترودهای اصلاح شده و جایگاه آن در الکتروشیمی تجزیه ای

استفاده از الکترودهای بدون اصلاحگر(برهنه) همواره دارای معایبی است. این معایب عبارتند از حساسیت پایین، گزینش پذیری کم، تکرار پذیری ضعیف، پایداری کم، سرعت پایین انتقال الکترون و پتانسیل مازاد برای انتقال الکترون. این دلایل باعث طراحی و توسعه الکترودهای اصلاح شده در فرایندهای تجزیه ای شد. در این وضعیت، الکترودها را با قرار دادن اصلاح گر روی سطح الکترودها به منظور بهبود رفتار الکترودها، اصلاح می کنند. بنابراین، چنین تعویض عمدی سطوح الکترودها می تواند بسیاری از مشکلات الکتروشیمی تجزیه ای را از بین ببرد و باعث انتقال سریع الکترون بین آنالیت و الکترودها و کاهش قابل توجهی در پتانسیل مازاد الکترودها می شود [۲].

یک الکترودها اصلاح شده با استفاده از پوشاندن سطح الکترودها برهنه با لایه نازکی از یک ماده با ویژگی انتخابی و تسهیل کننده انتقال بار و یا به منظور تغییر بعضی ویژگی های آن الکترودها به دست می آید. این گونه عامل دار کردن سطوح الکترودها می تواند کاربردهای مفید تجزیه ای داشته باشند. از آن جمله، شتابدهی واکنش های انتقال الکترون، تجمع ترجیحی و یا تراوایی انتخابی غشا می باشند. چنین مراحل می توانند برگزیدگی و حساسیت بالا و پایداری در ابزارهای الکتروشیمیایی را به وجود آورند [۱].

نتایج کلی این انتقال الکترونی شامل کاهش پتانسیل اضافی به پتانسیل فرمال واسطه گر و افزایش در چگالی جریان است. بنابراین یکی از کاربردهای مهم الکترودهای اصلاح شده در الکتروکاتالیز واکنش های الکتروشیمیایی کند می باشد.

تاریخچه اصلاح الکترودها عمدتاً به سال ۱۹۷۰ برمی گردد از اولین روش های اصلاح الکترودها می توان به جذب اصلاح گر روی سطح الکترودها با ایجاد پیوند کووالانسی و استفاده از فیلم های پلیمری اشاره کرد [۳و۲]. که از جمله روش های ساخت نانولوله های کربنی می توان به موارد زیر اشاره کرد.

روش های جذبی: اصلاح سطح الکترودها می تواند باروش های جذبی انجام شود. برای این منظور، ماده اصلاح گر

در یک حلال مناسب حل می شود سپس سطح الکتروود مورد نظر را یا در محلول حاوی اصلاح گر شناور کرده یا محلول را به صورت قطره بر روی سطح آن قرار می دهند [۴]. روش جذبی خود به دو دسته تقسیم می شوند که عبارتند از روش های جذب فیزیکی و روش های جذب شیمیایی. پیوند کووالانسی : در این روش اصلاح گر با برقراری یک پیوند کووالانسی با سطح الکتروود خود را روی سطح الکتروود تثبیت می کند. در این روش الکتروود های کربنی به دلیل ویژگی های سطحی که دارند بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. قرار دادن لایه های همگن : این کار به وسیله قرار دادن یک پلیمر یون گزین خاص یا قرار دادن غشا بر روی الکتروود انجام می شود که این روش باعث می شود که الکتروود به صورت بسیار گزینش پذیر به یک یون خاص جواب دهد. قراردادن لایه های ناهمگن : در این روش اصلاح گر مورد نظر در ماتریس الکتروود قرار می گیرد. که بارزترین مثال برای این روش استفاده از الکتروود خمیر کربن است که می توان اصلاحگر را در ماتریس این الکتروود جای داد [۲ و ۳ و ۵].

۱-۳- فرایند سل - ژل^۱

سل-ژل عبارت است از ذرات معلق جامد در مایع که شکل خود را حفظ کند. فرایند سل - ژل از ۱۵۰ سال پیش تا به امروز مورد استفاده قرار گرفته است. که در سال های اخیر کاربرد آن در اصلاح الکتروود مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیند سل-ژل یک روش شیمیایی تر برای سنتز انواع نانو ساختار ها به ویژه نانوذرات اکسید فلزی می باشد. در سال ۱۸۴۶ ابل من^۲ به طور اتفاقی مشاهده کرد که تتراکلرید سیلیکون (SiCl_4) که در ظرفی رها شده بود، ابتدا هیدرولیز و سپس به ژل تبدیل شد. در سال ۱۹۵۰ مطالعات گسترده ای در زمینه سنتز سرامیک ها و ساختارهای شیشه ای با استفاده از این روش آغاز شد. شایان ذکر است که با این روش، بسیاری از اکسیدهای غیرآلی مانند TiO_2 ، SiO_2 ، ZrO_2 سنتز شدند. سل-ژل می تواند در فرآیند ساخت سرامیک ها به عنوان ماده قالب گیری یا به عنوان حد واسط فیلم های نازک از اکسیدهای فلزی برای فرآیندهای مختلف

¹ Sol-gel

² Ebelmen

استفاده شود. مواد حاصل از روش تهیه سل-ژل می توانند در کاربردهای متفاوت نوری الکترونیک، انرژی، سطح، سنسورهای زیستی، دارویی و تکنولوژی جداسازی به کار برده شود [۷۶].

۱-۳-۱ نحوه ی تهیه سل - ژل

عموما نحوه ی ساخته شدن مواد سل - ژل مطابق مراحل زیر است [۱۱-۶].

۱. مخلوط کردن پیش ماده ها (Mixing): این عمل با حل پیش ماده ها در یک حلال مناسب امکان پذیر است. پیش ماده های مناسب در تشکیل کلئید عبارتند از: آلکوکسیدهای فلزی، آلکوکسی سیلان ها مانند تترا متوکسی سیلان (TMOS) و تترا اتوکسی سیلان (TEOS)، آلومینات ها، تیتانات ها، کمپلکس ها، بورات ها، کلرید ها، اکسوکلرید ها، نیترات ها و غیره.

۲. فرآیند آبکافت و شکل دهی (تشکیل سل) (Forming): با استفاده از فرآیند تغلیظ یا افزایش ناگهانی pH، فرآیند آبکافت و متراکم شدن ترکیبات آلکوکسی فلزات آغاز می شود. از عوامل موثر بر سرعت آبکافت می توان به الکترون گاتیویته اتم های فلز، گروه آلکوکسی، نوع حلال، ساختار مولکولی آلکوکسید فلزی اشاره کرد.

۳. ژل شدن (Gelation): در این مرحله سل به حالتی تبدیل می شود که می تواند شکل ظاهری خود را حفظ کند. ژل عبارت است از یک شبکه پیوسته سه بعدی متخلخل که یک فاز مایع را در خود جای داده است. در اکثر سیستم های سل - ژل، تشکیل ژل با ایجاد پیوندهای کووالانسی همراه بوده و ژل برگشت پذیر نیست یعنی قابلیت برگشت به حالت سل را ندارد. اگر ژل حاصل دارای پیوندهای دیگری غیر از پیوند کووالانسی باشد می تواند برگشت پذیر باشد.

۴. عمل آوری (Aging): این اصطلاح برای رشد پیوند ها، بعد از نقطه ژل شدن به کار می رود. تغییرات ساختاری بعد از تشکیل ژل تمام نمی شود و پایداری تکمیلی ماتریکس در طول دوره رشد اتفاق می افتد. ممکن است این فرآیند بیشتر از یک هفته نیز به طول بیانجامد.

۵. خشک کردن (Drying): این عمل زمانی انجام می شود که آب یا حلال از شبکه ژل خارج شود. خشک کردن معمولاً به دو صورت انجام می شود خشک کردن به وسیله ی تبخیر در شرایط معمولی و خشک کردن در شرایط فوق بحرانی.

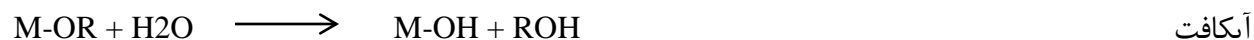
۶. آب زدایی یا پایدارسازی شیمیایی (Dehydration or Chemical Stabilization): در مرحله آبگیری، گروه‌های M-OH واقع در سطح ژل از بین می روند. این مرحله باعث ناپایداری ژل می شود. معمولاً برای پایداری ژل و نیز رسیدن به اکسید فلز، ژل را تا دماهای ۸۰۰ درجه سانتی گراد کلسینه می کنند.

این فرایندها معمولاً از دو مسیر کلی انجام می شود.

الف) فرایند در مسیر کلوئیدی: در این مسیر از اصول شیمیایی کلوئیدها برای تولید ذرات کلوئیدی گونه های یونی و غیر یونی در یک محیط آبی استفاده می شود. پیش ماده های مورد استفاده در این مسیر عبارتند از کلریدها، نیترات های فلزات و اکسو کلریدها. مسیر کلوئیدی بسیار ارزان و کاربرد آسان تری نسبت به آلکوکسیدهای فلزی دارند. اما کنترل واکنش های آن ها بسیار سخت تر می باشد.

ب) فرایند در مسیر آلکوکسیدها: این فرایند در حلال های آلی انجام می شود و بر اساس رشد اکسو پلیمر های فلزی در حلال می باشد. مرحله واکنش پلیمریزاسیون واکنش آبکافت و تراکم (چگالش) آلکوکسیدهای فلزی $M(OR)_z$ می باشد (OR: Si, Ti, Zr, Sn, Ce, Sn): گروه های آلکوکسیدی z: بار حالت اکسید فلز).

در این جا فرایند آبکافت جایگزینی گروه الکلی با گروه OH است و فرایند چگالش جایگزینی گروه های آلکوکسی باقی مانده با گروه های هیدروکسی می باشد.





۱-۳-۲- مزایا و کاربردهای سل - ژل

از جمله مزایا و کاربردهای سل - ژل عبارتند از :

۱. سنتز در دمای پائین.
۲. ابزار انجام آن ساده است.
۳. سنتز ترکیبات به صورت اکسیدهای کامپوزیتی.
۴. راندمان تولید بسیار بالا و تهیه محصولاتی با خلوص بالا.
۵. امکان طراحی ترکیب شیمیایی و به دست آوردن ترکیب همگن وجود دارد.
۶. امکان استفاده از محصول به اشکال خاص مثل الیاف ، آئروژل و تهیه پوشش سطوح.
۷. امکان استفاده از این فرایند برای سنتز مواد در حالت بی شکل و به کارگیری آنها جهت تهیه لایه‌های نازک.
۸. تولید مواد دارای خواص فیزیکی اصلاح شده مانند ضریب انبساط حرارتی پایین و جذب اشعه UV کم و شفافیت نوری بالا.
۹. تولید مواد متخلخل که اجازه مخلوط شدن با ترکیبات آلی و پلیمری را می دهند.
۱۰. واکنش پذیری شیمیایی بالای پیش ماده ها به دلیل انجام فرایند در فاز محلول

۱-۴-۱- نانو لوله های کربنی

در سال ۱۹۹۱ دانشمندی به نام سومیو ایجیما^۱ به طور کاملاً اتفاقی ساختار دیگری از کربن را کشف و تولید کرد که خواص منحصر به فردی دارد. وی در ابتدا این ساختار را نوعی فولرن تصور کرد که در یک جهت کشیده شده است اما بعدها متوجه شد که این ساختار خواص متفاوتی از فولرن ها دارد و به همین دلیل آن را

¹ Sumio Iijima

نانولوله ی کربنی نامید. نانولوله ی کربنی یعنی یک لوله ی توخالی که از جنس کربن می باشد [۱۲]. در یک نانولوله ی کربنی اتم های کربن در یک ساختار استوانه ای آرایش یافته اند که دیواره ی آن از اتم های کربن است. آرایش اتم های کربن در دیواره ی این ساختار استوانه ای دقیقا مشابه آرایش کربن در گرافیت است. شش ضلعی های منظم کربنی در کنار یکدیگر صفحات گرافیت را می سازند این صفحات کربنی (که گرافن نامیده می شوند) بر روی یکدیگر انباشته می شوند و هر لایه از طریق پیوند های ضعیف واندروالس به لایه ی زیرین متصل می شود. در واقع هنگامی که صفحات گرافیت در هم پیچیده می شوند، نانولوله های کربنی را تشکیل می دهند [۱۳]. اولین کاربرد نانو لوله های کربنی در الکتروشمیمی توسط بریتو^۱ و همکارانش بود که خمیری از نانولوله های کربنی چند دیواره در بروموفرم را در داخل یک لوله شیشه ای پر کردند و برای مطالعه اکسیداسیون دوپامین استفاده کردند [۱۴ و ۱۵].

۱-۴-۱- روشهای تولید نانولوله های کربنی

۱. رسوبگیری شیمیایی فاز بخار: روش رسوبگیری شیمیایی فاز بخار یکی از روش های تولید نانولوله های کربنی است که برای تولید انبوه (در حد چند کیلوگرم) به کار می رود. این روش شامل رشد کاتالیزوری عنصر کربن در دمای بالاست. در این فرآیند از نانوذرات فلزی که به عنوان کاتالیست عمل می کنند، استفاده می شود [۱۲].

۲. روش تخلیه قوس الکتریکی: این روش نخستین بار توسط ایجیما در سال ۱۹۹۳ برای تولید نانولوله های تک دیواره (SWNT) به کار گرفته شد [۱۲].

۳. روش سایش لیزری: این روش به خاطر تولید نانولوله های کربنی تک لایه با کیفیت و خلوص بالا مشهور شده است [۱۲].

¹ Britto

۱-۴-۲- ساختار نانولوله ها

نانولوله های کربنی از واحدهای کربنی با هیبریداسیون sp^2 و شبکه بندی شش گوشه و یکپارچه که قطرشان در حدود چند نانومتر ولی طولشان در حدود چندین میکرون می باشد تشکیل یافته اند. نانولوله ها می توانند به دو زیر مجموعه تقسیم شوند: نانو لوله های کربنی تک دیواره و نانو لوله های کربنی چند دیواره. نانولوله های کربنی تک دیواره (SWNT) همان طور که از اسمش مشخص است، شامل یک تک لوله توخالی با قطری بین ۲-۴ nm است. نانولوله های تک جداره بر حسب آرایش اتم های کربنی مقطع لوله به سه دسته مهم صندلی و کایرال که دارای خاصیت فلزی هستند و زیگزاگ که خاصیت نیم رسانایی دارد تقسیم می شوند. در حالی که نانولوله های کربنی چند دیواره (MWCNT) ترکیبی از چندین نانولوله کربنی متحدالمرکز با فاصله ۰/۳۴ nm است که قطر آن ها از ۲-۱۰۰ nm است [۱۶و۱۲].

۱-۴-۳- ویژگی نانو لوله های کربنی

۱. اندازه بسیار کوچک
۲. رسانایی گرمایی بالا
۳. خواص الکترونیکی و مکانیکی منحصر به فرد
۴. مدول یانگ بالا
۵. حساس به تغییرات کوچک اعمال شده
۶. استحکام و مقاومت کششی بالا
۷. داشتن خاصیت ابر رسانایی
۸. گسیل و جذب نور [۱۷و۱۲].

۱-۴-۴- تصفیه نانولوله ها

نانولوله های سنتز شده به ناچار دارای ناخالصی های کربنی و فلزی هستند و میزان این ناخالصی ها معمولا با کاهش قطر افزایش میابد. انواع این ناخالصی ها عبارتند از: فولرن، کربن پلی هدرال، نانوذرات کربن، کربن آمورف و ناخالصی های فلزی. روشهای تصفیه مختلفی از نظر نسبت ابعادی و میزان اکسیداسیون نانوتیوب ها و نوع ناخالصی ها توسعه یافته اند. روش های اصلی تصفیه عبارتند از:

۱. روش های شیمیایی شامل الف) اکسایش فاز گازی ب) اکسایش فاز مایع ج) اکسایش الکتروشیمیایی [۱۳].
۲. روشهای فیزیکی شامل الف) فیلتراسیون ب) سانتریفوژ ج) انحلال پذیر کردن نانولوله ها با ایجاد گروههای عاملی بر سطح دیواره نانولوله های کربنی د) حرارت دادن در دمای بالا [۱۳].

۱-۴-۵- کاربردهای نانولوله های کربنی

۱. به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت ها
۲. استفاده در نمایشگرهای نشر میدانی
۳. استفاده از نانولوله های تک دیواره در صنعت الکترونیک
۴. کاربرد به عنوان پیل سوختی
۵. ساخت نانوماشین ها با استفاده از نانولوله های کربنی

۱-۴-۶- الکتروشیمی نانولوله های کربنی

در نانولوله های کربنی دو منطقه ی سطحی ویژه وجود دارد: دیواره ها و انتهاها. اگر نانولوله های کربنی را بتوان به ورقه های گرافنی که به شکل لوله پیچانده شده اند تشبیه نمود آنگاه خواص الکتروشیمیایی دیواره های نانولوله های کربنی را می توان مشابه با صفحات پایه ای گرافیت پیرولیتی و انتهاهای باز نانولوله های کربنی را